



# UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**INFLUENCIA DE *Porlieria chilensis* EN SUELOS Y EN EL ESTADO HÍDRICO DE  
LOS INDIVIDUOS DE UN MONOCULTIVO DE PALTO VAR. HASS, EN LA  
COMUNA DE HIJUELAS, PROVINCIA DE QUILLOTA, REGIÓN DE  
VALPARAÍSO**

**ALONSO NICOLÁS SOTO LAMBERT**

Santiago, Chile  
2022



# UNIVERSIDAD DE CHILE

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

ESCUELA DE PREGRADO

MEMORIA DE TÍTULO

**INFLUENCIA DE *Porlieria chilensis* EN SUELOS Y EN EL ESTADO HÍDRICO DE LOS INDIVIDUOS DE UN MONOCULTIVO DE PALTO VAR. HASS, EN LA COMUNA DE HIJUEALS, PROVINCIA DE QUILLOTA, REGIÓN DE VALPARAÍSO**

**INFLUENCE OF *Porlieria chilensis* ON SOILS AND ON THE HYDRIC STATUS OF TREES IN A MONOCULTURE OF AVOCADO, VAR. HASS, IN THE HIJUELAS COMMUNITY, QUILLOTA PROVINCE, VALPARAÍSO REGION**

**ALONSO NICOLÁS SOTO LAMBERT**

Santiago, Chile  
2022



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS  
ESCUELA DE PREGRADO

Memoria de Título

**INFLUENCIA DE *Porlieria chilensis* EN SUELOS Y EN EL ESTADO HÍDRICO  
DE LOS INDIVIDUOS DE UN MONOCULTIVO DE PALTO VAR. HASS, EN  
LA COMUNA DE HIJUELAS, PROVINCIA DE QUILLOTA, REGIÓN DE  
VALPARAÍSO**

Memoria para optar al Título Profesional de  
Ingeniero en Recursos Naturales Renovables

**ALONSO NICOLÁS SOTO LAMBERT**

**PROFESORES GUÍAS**

Sr. Marco Garrido S.  
Ingeniero Agrónomo, Dr.

**Calificaciones**

7,0

Sr. Oscar Seguel S.  
Ingeniero Agrónomo, Dr.

7,0

**PROFESORES EVALUADORES**

Sr. Thomas Fichet L.  
Ingeniero Agrónomo, Dr.

4,8

Sra. María Teresa Varnero M.  
Química Farmacéutica

6,0

Santiago, Chile  
2022

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco culminar este proceso después de tantos altos y bajos. Se termina una etapa para comenzar otra. Solo queda recibirla con los brazos abiertos.

Doy las gracias a mi familia por acompañarme en todo momento. Por ser distintos a mi y en esa diferencia inducir mi crecimiento y ampliar mi visión de vida. Agradezco los valores que me impartieron.

A mi padre y madre, gracias por regalarme la vida. A mi padre por sostener la casa con inteligencia y entregarme su apoyo a su manera. A mi madre por enseñarme que el cariño y el amor son para siempre.

Gracias a mi hermano por siempre recibirme con una sonrisa y cariño, por motivarme a seguir en el proceso. Gracias a mi hermana por darme su comprensión e iluminar los espacios con su arte. Por amarme a pesar de todo y confiar en mi criterio.

Agradezco a mi prima hermana por permitirme ser parte de su mundo y tratarme como un igual desde siempre. Mostrarme la vida profesional y creer en mi a pesar de las circunstancias. Por ofrecerme una comprensión verdadera y sin juicios, eternamente agradecido.

Gracias a las amigas, amigos, amigos que conocí en este proceso. Por ampliarme la visión de mundo y permitirme conocerlos y compartir. Por comprenderme y escucharme. Muchos son y serán compañerxs de vida.

Muy agradecido tanto del profesor Marco Garrido como de Oscar Seguel, por permitirme aprender y enseñarme acerca de ecofisiología y de suelos. Por confiar en mi y prestarme sus equipos para hacer las mediciones correspondientes. Por permitirme trabajar en el laboratorio de física de suelos. Muchas gracias también a Jairo Sarasty, por enseñarme y guiarme en el trabajo de laboratorio y por acompañarme en el proceso de toma y procesamiento de muestras.

Ahora solo mirar para arriba y adelante, nunca más para abajo ni atrás.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	1
ABSTRACT .....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
Hipótesis .....	5
Objetivo General.....	5
METODOLOGÍA.....	6
Lugar de estudio.....	6
Configuración experimental .....	6
Climograma .....	7
Caracterización dendrométrica y ecofisiológica.....	8
Propiedades físicas de suelo .....	8
Propiedades químicas de suelo .....	9
Contenido de agua en el suelo .....	9
Análisis estadístico .....	10
RESULTADOS y DISCUSIÓN.....	11
Climograma .....	11
Caracterización dendrométrica y ecofisiológica.....	12
Área de sección transversal de tronco .....	12
Área foliar específica y densidad de peciolo .....	13
Potencial hídrico xilemático .....	14
Conductancia Estomática .....	16
Propiedades físicas de suelo .....	18
Propiedades químicas de suelo .....	23
Análisis de componentes principales .....	27
CONCLUSIONES.....	29
BIBLIOGRAFÍA .....	30
ANEXOS .....	35
APÉNDICES .....	36

## RESUMEN

Frente a los manejos no sustentables de la agricultura intensiva, es posible generar sistemas productivos siguiendo prácticas provenientes de la agroforestería. Buscando estudiar efectos de la diversidad en un cultivo agrícola, en el presente estudio se evaluó la influencia que tuvo *Porlieria chilensis* en suelos y en el estado hídrico de paltos en un huerto en la región de Valparaíso. Se analizaron dos tratamientos, palto parcelas puras (PPP, monocultivo de palto) y palto parcelas mixtas (PPM, palto con guayacanes integrados en su marco de plantación), evaluando área de sección transversal de tronco (ASTT), área foliar específica (AFE), densidad de peciolo (dP), potencial hídrico xilemático y conductancia estomática. A nivel de suelo, se tomaron muestras para análisis físicos y químicos, analizando el factor parcela bajo guayacán parcela mixta (GPM), PPM y PPP. Los resultados se analizaron mediante una matriz de correlaciones y un análisis de componentes principales. ASTT, AFE y dP no mostraron diferencias entre tratamientos, en tanto potencial hídrico y conductancia estomática presentaron diferencias en el factor exposición. En el suelo, la densidad aparente registró valores más bajos en GPM y PPM respecto a PPP. Los poros de aireación resultaron ser mayores en PPM que en PPP, mientras que GPM fue similar a PPM y PPP. Para los macronutrientes (N, P, K) los valores más altos los registró GPM, asociado a mayores niveles de materia orgánica del suelo. Se concluye que la presencia de *P. chilensis* en el huerto de paltos tiene efectos positivos en las propiedades físico-químicas del suelo.

**Palabras clave:** Agroforestería, potencial hídrico xilemático, conductancia estomática, propiedades físicas y químicas de suelo.

## ABSTRACT

Considering the unsustainable management of intensive agriculture, it is possible to generate productive systems following practices from agroforestry. With the aim to study the effects of diversity in an agricultural crop, the present study evaluated the influence that *Porlieria chilensis* (Guayacán) had on soils and on the water status of avocado trees in an orchard in the Valparaíso region. Two treatments were analyzed, avocado pure plots (PPP, avocado monoculture) and avocado mixed plots (PPM, avocado with *P. chilensis* integrated in their plantation framework), evaluating trunk cross-sectional area (ASTT), specific leaf area (AFE), density of petiole (dP), xylem water potential and stomatal conductance. At soil level, samples were taken for physical and chemical analysis, analyzing the plot factor under guayacán in mixed plot (GPM), PPM and PPP. The results were analyzed using a correlation matrix and principal component analysis. The ASTT, AFE and dP variables did not show differences between treatments, while water potential and stomatal conductance only showed differences in the exposure factor. In the soil, the bulk density registered lower values in GPM and PPM with respect to PPP. The aeration pores were higher in PPM than in PPP, while GPM did not present differences with respect to PPM and PPP. For macronutrients (N, P, K) the highest values were observed in GPM, associated with the highest levels of organic matter in the soil. It is concluded that the presence of *P. chilensis* in the avocado orchard has positive effects on the physical-chemical properties of the soil.

**Keywords:** Agroforestry, xylem water potential, stomatal conductance, soil physical and chemical properties.

## INTRODUCCIÓN

Chile es de los países latinoamericanos más propensos a ser afectados por estrés hídrico y cambio climático (Muñoz *et al.*, 2020), entendiendo el concepto de estrés hídrico como “la relación entre la extracción total de agua y el agua superficial disponible a nivel de subcuenca” (Luo *et al.*, 2015). El sector agrícola, por su parte, utiliza un 88% del agua superficial y subterránea del país (Escenarios Hídricos 2030, 2018), efectuando un uso intensivo que resulta en impactos en el agua, el suelo y la biodiversidad (Ginocchio *et al.*, 2019). A partir de esto, surge la necesidad de desarrollar una agricultura que considere un uso eficiente de recursos naturales limitados, incorporando estrategias que ayuden a adaptarse a nuevos patrones climáticos (ODEPA, 2016).

Frente a esta necesidad, es posible generar sistemas productivos sostenibles siguiendo prácticas provenientes de la agroforestería y/o agroecología. La agroecología se define como la aplicación de conceptos y principios ecológicos al diseño y gestión de agroecosistemas sostenibles (Altieri y Nicholls, 2000). En particular, la agroforestería consiste en el crecimiento de árboles y arbustos con cultivos y/o animales, en combinaciones que interactúan entre sí, con el fin de generar un uso sostenible de la tierra (Nair *et al.*, 2008). Por ello, prácticas recurrentes en estos sistemas productivos consisten en aumentar la biodiversidad, lo cual puede lograrse mediante el aumento de la variabilidad genética y diversidad de especies, impulsando el desarrollo de policultivos (Altieri *et al.*, 2015).

Según Altieri *et al.* (2015), “las propiedades ecológicas que emergen de agroecosistemas diversificados permiten que se mantenga la fertilidad del suelo, la productividad de los cultivos y una regulación de plagas”. Dentro de esta misma directriz, se encuentra la integración de especies leñosas diferentes de la especie de interés agronómico dentro de los sistemas productivos; estas especies modifican los suelos y su estado mediante la intercepción de lluvia y la transpiración de agua absorbida por las raíces, además de proporcionar sombra al sotobosque, y aportar materia orgánica y cobertura (Barrios *et al.*, 2012). Esto afecta la temperatura, humedad, tasa de erosión y contenido de nutrientes del suelo, influyendo de manera positiva en su biota específica (Barrios *et al.*, 2012). Otros estudios indican mejoras en las propiedades físicas de suelo como la densidad aparente, estabilidad de agregados y porosidad, debido a la presencia de árboles dentro de sistemas productivos (Sileshi *et al.*, 2014).

En un estudio desarrollado en cultivos de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la amazonía peruana, se monitorearon dos sistemas agroforestales durante 6 años. Por un lado, un sistema agroforestal natural mejorado (INAS), donde se eliminaron selectivamente los árboles sin valor económico, de tal forma de conservar un 50% de sombra, por otro lado, un sistema agroforestal tradicional mejorado (ITAS), donde los árboles nativos sin valor económico fueron cortados y quemados. En los primeros 20 cm de profundidad, se encontró que, para densidad aparente, porosidad total, capacidad de campo, punto de marchitez y agua utilizable INAS registró 1.31 g cm<sup>-3</sup>, 50.74%, 40.26%, 28.37% y 11.89% de manera respectiva, mientras que en ITAS, se observó 1.37 g cm<sup>-3</sup>, 48.54%, 36.54%, 25.04%, 11.5% respectivamente (Arévalo-Gardini *et al.*, 2015), siendo todas las diferencias estadísticamente significativas.

Por otra parte, en la investigación realizada entre los años 1996 y 2004 por Sileshi y Mafongoya (2006), en la provincia este de Zambia, se compararon las condiciones edáficas de un monocultivo de maíz con un cultivo asociado de maíz con leguminosas (*Gliricidia sepium* y *Leucaena leucocephala*) en los primeros 20 cm de profundidad. Las densidades aparentes medidas bajo el cultivo de maíz resultaron



ser de  $1.59 \text{ g cm}^{-3}$ , mientras que bajo *Leucaena* y *Gliricidia* se registraron valores de  $1.45 \text{ g cm}^{-3}$  y  $1.42 \text{ g cm}^{-3}$  respectivamente. Además de esto, el estudio cuantificó la biomasa y el aporte equivalente de N, P y K incorporados en el suelo durante los años de estudio que ambas especies de leguminosas realizaron. Refiriéndose a biomasa, se observó que *Leucaena* aportó  $2.09 \text{ t ha}^{-1}$ , mientras que *Gliricidia* aportó  $2.14 \text{ t ha}^{-1}$ . Respecto al aporte equivalente de N, P y K que dicha cantidad de biomasa realiza, se observó que *Leucaena* aportó  $57.45 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $3.46 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $27.37 \text{ kg ha}^{-1}$  respectivamente, mientras que *Gliricidia* aportó  $61.4 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $4.46 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $23.21 \text{ kg ha}^{-1}$  de manera respectiva. Esto significa que la presencia de leguminosas en el cultivo de maíz tuvo un impacto positivo en las propiedades fisicoquímicas del medio edáfico. Sin embargo, los beneficios potenciales dependen de las interacciones espaciales y temporales entre los componentes del sistema, los cuales incluyen las especies de árboles y cultivos, así como el tipo de suelo y el clima predominante (Ong *et al.*, 2017). Por su parte, Pauli *et al.* (2010), en el oeste de Honduras, evaluaron la relación espacial entre la distribución de árboles, cobertura de mulch, y depósitos de lombrices de tierra en un mismo contexto agroforestal, determinando que la distribución y producción de lombrices estaba relacionada de manera estrecha con la disposición espacial de los árboles, entendiendo la distribución de lombrices como un indicador biológico de calidad de suelos.

Entre los rubros agrícolas más criticados y observados respecto del uso de recurso suelo y agua, se encuentra la producción de Palto (Fundación Terram y Miranda, 2018). Respecto a este cultivo, según Ferreyra *et al.* (2007), en Chile es posible encontrar huertos con rendimientos que alcanzan las  $25 \text{ ton ha}^{-1}$ , no obstante que el promedio de los huertos en el país bordea las  $10 \text{ ton ha}^{-1}$ . Esta diferencia en los rendimientos del cultivo se debe principalmente a que las condiciones en las que el palto se desarrolla en el país distan mucho de las condiciones originales en las que este se desarrolló y evolucionó. En específico, esta especie evolucionó en suelos volcánicos de climas húmedos caracterizados por poseer baja densidad aparente, alta capacidad de aire, un pH moderadamente ácido y alta pluviometría (Aguilera-Montañez y Salazar-García, 1991; Ferreyra *et al.*, 2008), lo que resultó en un sistema radical poco profundizador y sin pelos absorbentes, muy sensibles a la falta de oxígeno (Ferreyra, 2017). Es por esto que, a partir de lo descrito por Ferreyra *et al.* (2007), en Chile las bajas producciones se explicarían en parte debido a problemas relacionados con asfixia radicular, puesto que los suelos donde se han establecido los huertos poseen baja capacidad de aire y alta densidad aparente (Beyá-Marshall *et al.*, 2020), agravando estas condiciones mediante la aplicación constante de riego.

Debido a lo anteriormente descrito, es que una aplicación de riego correcta es sumamente importante. Las condiciones de humedad del suelo, junto con la resistencia hidráulica entre el suelo y la planta que determinan la tasa transpiratoria, dependen de los valores de potencial hídrico de tallo, el cual es una variable ampliamente utilizada para estimar el estado hídrico de la planta (Contador, 1998). La tasa transpiratoria, por su parte, también se encuentra determinada tanto por factores ambientales como por factores intrínsecos de la planta, donde dentro los últimos se encuentra la conductancia estomática, que se constituye como uno de los elementos de mayor importancia e incidencia en el flujo transpirativo (Jones *et al.*, 1984). Si a esto se le suma el hecho que los estomas del palto responden al menos a cuatro factores, los cuales son el potencial hídrico, diferencia de humedad absoluta entre hoja y aire, nivel de radiación fotosintéticamente activa e historia de estrés hídrico del árbol (Sterne *et al.*, 1977), es posible establecer una relación importante entre el potencial hídrico y la conductancia estomática. Con el conocimiento de estos valores y en conjunto con las condiciones ambientales del sitio de estudio en específico, es posible determinar el estado hídrico de individuos presentes, abriendo la posibilidad a la toma de decisiones con el fin generar impacto en las producciones y la utilización de recursos.

En el Centro de Investigación y Sustentabilidad Ensenada Los Tilos, en la región de Valparaíso. se encuentran aproximadamente 38,8 hectáreas destinadas a la producción de palto var. Hass. Uno de los sectores cuenta con individuos de *Porlieria chilensis*, Guayacán, integrados al cultivo de palto, lo que genera un ambiente propicio para evaluar el efecto de esta coexistencia en variables edáficas y de desempeño de palto. *P. chilensis* es una especie nativa de hábito arbustivo, con ramas gruesas y tortuosas, y con hojas perennes y compuestas, cuya categoría de conservación es vulnerable (MMA, s.f.). Al ser una especie nativa del secano semiárido de Chile Central, tiene características ideales como planta acompañante en sistemas agroecológicos, esto es, alta capacidad de producir biomasa (con la consecuente fijación de C y N atmosférico, constituyéndose de manera potencial como un nicho ecológico) con un bajo consumo hídrico. Por otra parte, la investigación realizada por Muñoz *et al.* (2008), concluye que esta especie desarrolla levantamiento hidráulico, que consiste en un movimiento pasivo de agua a través de las raíces de los árboles, desde horizontes más profundos y húmedos de suelo, hacia perfiles más secos y superficiales, a lo largo de un gradiente de potencial hídrico del suelo (Richards y Caldwell, 1987).

Dadas las condiciones descritas, se pretende evaluar si *P. chilensis* ejerce alguna influencia sobre las condiciones edáficas presentes en las parcelas experimentales y el desempeño de *P. americana*.

### **Hipótesis**

La influencia de *P. chilensis* es positiva, tanto en las propiedades físico-químicas de suelo como en el estado hídrico de los paltos que se encuentren dentro de su área de influencia.

### **Objetivo General**

Estudiar el efecto que ejercen los individuos de *P. chilensis* sobre las características físico-químicas de suelo y el estado hídrico de los individuos de *P. americana*, dentro de su área de influencia.

## METODOLOGÍA

### Lugar de estudio

Este estudio se desarrolló durante el año calendario 2021 (enero a diciembre), en un huerto de *Persea americana*, situado dentro del Centro de Investigación y Sustentabilidad Ensenada los Tilos, ubicado en la comuna de Hijuelas, provincia de Quillota, región de Valparaíso (32°46'43.31"S - 71°4'1.90"O) en el valle del Aconcagua.

Este terreno fue declarado Reserva de la Biosfera en el año 2009, consolidándose como un sitio de apoyo a la ciencia y la sostenibilidad. La principal actividad económica de este centro de investigación es la producción de paltas para exportación, con 38.8 hectáreas de una superficie total aproximada de 1400 hectáreas. El sector cultivado se divide en 3 sectores, dominados por variedad Hass para exportación, además de variedades Ester y Fuerte, entre otros, ubicados en el lugar de menor pendiente, para prevenir procesos de erosión. El huerto se encuentra plantado en camellones someros (30 cm de altura), y cuenta con un sistema de riego por goteo, con doble línea y emisores de 2 L h<sup>-1</sup> distanciados a 50 cm, el cual riega también los individuos de *P. chilensis* presente en uno de esos sectores.

El sector de estudio presenta una precipitación media anual de 429 mm, una evapotranspiración potencial de 1263 mm, siendo 27,5°C la temperatura media máxima del mes más cálido (enero) y 5.4 °C la temperatura media mínima del mes más frío (julio) (Santibáñez *et al.*, 2017). Por su parte, el suelo está mapeado como Serie OCOA (Fase OCA-1), en posición de piedmont y rellenos de quebrada, franco grueso, moderadamente profundo, pendiente de 3-8% y abundante pedregosidad (CIREN, 2016).

Los análisis de curva característica, distribución de poros y densidad aparente se desarrollaron en el Laboratorio de Física de Suelos de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

### Configuración experimental

En primera instancia, se georreferenciaron los individuos de *P. chilensis* dispuestos dentro del huerto, generando un primer acercamiento a la unidad experimental. A partir de esto, se utilizó la metodología de muestreo propuesta por Rebola-Lichtenberg *et al.* (2021), que establece parcelas de muestreo puras y mixtas, las cuales constituyen los tratamientos evaluados:

Palto parcela pura (PPP): comprendieron únicamente a individuos de *P. americana*, donde cada una se constituyó por 9 individuos. El área abarcada por cada parcela experimental se calculó a partir del marco de plantación de los paltos, el cual correspondió a 6 m de distancia entre hilera y 4 m de distancia sobre la hilera, por lo que cada árbol abarcó un área de 24 m<sup>2</sup>, y al ser 9 árboles, cada parcela abarcó aproximadamente 216 m<sup>2</sup>.

Palto parcela mixta (PPM): comprendieron tanto a individuos de *P. americana* como de *P. chilensis*. Cada una se constituyó por 9 paltos y un guayacán adulto situado aproximadamente al centro de la parcela.

Sin embargo, para algunas variables de suelo se incluyen evaluaciones bajo la proyección de copa de árbol del Guayacán, determinando un subtratamiento que fue denominado Guayacán de parcela mixta (GPM), el que se incluye en las comparaciones estadísticas como si fuese un tratamiento más, dado que proviene de unidades de observación y muestreos completamente independientes. Las unidades experimentales anteriormente descritas se establecieron en un diseño completamente aleatorizado. En la Figura 1 se presenta la disposición de las parcelas experimentales y la ubicación de los sensores de agua.

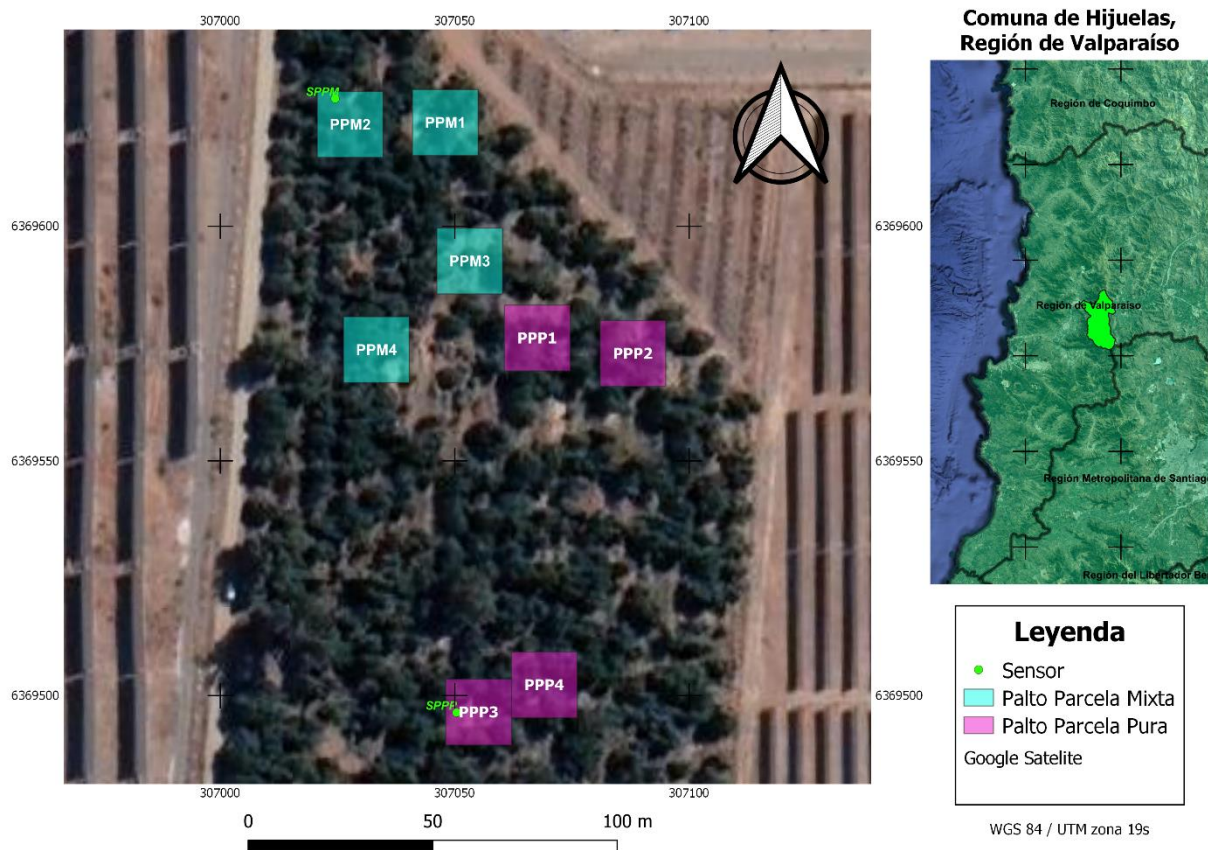


Figura 1. Mapa de las parcelas experimentales con individuos de *P. americana* solos (PPP) y *P. americana* con *P. chilensis* (PPM), comuna de Hijuelas, provincia de Quillota, región de Valparaíso, 2020.

### Climograma

Se desarrolló un climograma a partir de los datos recogidos por la estación meteorológica Hijuelas, ubicada en la comuna del mismo nombre en la región de Valparaíso, entre el 01/01/2021 y el 31/12/2021. Esta presentaba datos horarios, por lo que se procedió a calcular los promedios diarios, para luego desarrollar promedios mensuales. Se utilizaron los datos de temperatura máxima,

temperatura mínima, temperatura promedio del aire (todas en °C), radiación solar máxima ( $w m^{-2}$ ), precipitación (mm) y humedad relativa promedio (%).

### **Caracterización dendrométrica y ecofisiológica**

Una vez establecidas las parcelas, se midió el perímetro del tronco con huincha métrica a 20 cm bajo el injerto, a partir de lo cual se determinó el área de sección transversal de tronco. Esta evaluación se realizó en la totalidad de paltos presentes en cada unidad experimental específica con el objetivo de generar una referencia respecto a la similitud que unidades experimentales poseían entre si.

Con el fin de cuantificar la dinámica de asignación de recursos durante el crecimiento de paltos se tomaron muestras para estimación de área foliar específica y densidad de peciolo. Área foliar específica se constituye como el inverso de la masa foliar por área (LMA) y esta correlacionada con rasgos funcionales de la planta tales como la tasa fotosintética (Wright *et al.*, 2004) y almacenamiento de carbono (Reich, 2014), entre otros. La densidad de peciolo por otro lado, es un rasgo funcional clave en especies de plantas leñosas, correlacionándose con el soporte mecánico y transporte de agua (Chave *et al.*, 2009) además de tener importantes implicancias en procesos ecosistémicos como el almacenamiento de carbono en biomasa (Larjavaara y Muller-Landau, 2010). En este estudio, ambas variables indican concentración de carbono en la estructura.

A partir de lo anterior, se tomó una muestra compuesta de 10 hojas por árbol para la estimación del área foliar específica y densidad de peciolo. De estas, 5 hojas fueron tomadas de la cara de exposición este y las 5 restantes fueron extraídas de la cara de exposición oeste, todas a una altura de ~1.7 m. Con el objetivo de estandarizar el muestreo de hojas, estas provinieron de la fracción distal de la rama, estando completamente expandidas. Las muestras fueron procesadas como se describe a continuación: las hojas fueron escaneadas para medir su área a través de análisis de imágenes con el software ImageJ. Los peciolos, por otro lado, fueron cortados, logrando un cilindro relativamente regular, y su largo y diámetros distales y proximales fueron medidos con un pie de metro, con el objetivo de estimar su volumen. Luego, las muestras fueron dispuestas en una estufa a 60°C para determinar su peso seco. El área foliar específica (AFE) fue estimada como el cociente entre el área foliar y el peso seco de cada muestra, mientras que la densidad de peciolo (dP) se estimó como el cociente entre el peso seco de peciolos y su volumen.

Se midió el potencial hídrico xilemático de mediodía con una cámara de presión modelo 1505D EXP (PMS Instrument Company, USA) siguiendo un procedimiento estándar (Scholander *et al.*, 1965). Se cubrió con una bolsa plástica y papel aluminio dos hojas por árbol, completamente expandidas y expuestas a radiación dos horas antes de la medición. Esto se realizó en la exposición este y oeste de cada árbol y las mediciones se realizaron alrededor de mediodía solar (entre las 13:00 y 14:30 h). Durante el mismo rango horario y en hojas de características similares a las descritas, se midió la conductancia estomática con un porómetro de estado estacionario SC-1 (Decagon Device). Estas medidas (potencial hídrico y conductancia estomática) se realizaron en dos momentos, durante los meses de marzo y mayo, antes y después de un riego.

### **Propiedades físicas de suelo**

Se hicieron calicatas de 60 cm de profundidad dentro del marco de plantación de un árbol de palto por parcela, con el objetivo de realizar una descripción de la distribución de raíces del individuo en el perfil. En el caso de las parcelas mixtas, se hizo además una calicata bajo la influencia de guayacán. En cada calicata se tomaron muestras disturbadas y no disturbadas entre 0-15, 16-30 y 31-60 cm de profundidad para determinaciones de densidad aparente, curva característica de suelo y distribución del tamaño de poros, metodologías descritas por Sandoval *et al.* (2012). Para el caso de parcelas mixtas se tomaron las muestras bajo un individuo de *P. chilensis* y un individuo de *P. americana*, para las parcelas puras se tomaron muestras bajo un individuo de *P. americana*.

### Propiedades químicas de suelo

Para propiedades químicas, se tomaron muestras entre 0-30 y 31-60 cm de profundidad para la medición de materia orgánica, pH, conductividad eléctrica y N-P-K, todas metodologías descritas por Sadzawka *et al.* (2006), las cuales fueron analizadas en un laboratorio de análisis de suelo privado. Se realizaron 4 repeticiones por cada profundidad. Al igual que en las propiedades físicas de suelo, para las parcelas mixtas se tomaron las muestras bajo un individuo de *P. chilensis* y un individuo de *P. americana*, mientras que para las parcelas puras se tomaron muestras bajo un individuo de *P. americana*.

### Contenido de agua en el suelo

En una parcela mixta y una parcela pura, se realizó una calicata y en cada una se instalaron sondas de capacitancia SC3- Decagon Device, a 30 y 60 cm de profundidad, conectados a un data logger de monitoreo continuo EM5B Decagon Device, con el fin de realizar un seguimiento de los ciclos de mojado y secado del suelo a dichas profundidades. En el caso de la parcela mixta, se instaló la sonda bajo guayacán y palto a la vez. Los sensores se localizaron bajo la proyección de la línea de goteo, registrándose el contenido de agua del suelo durante el periodo comprendido entre el 18/03/2021 y 18/10/2021. Por otra parte, con el fin de cruzar los datos levantados por las sondas con los datos de capacidad de campo y punto marchitez permanente, es que los valores registrados por el sensor fueron sometidos a una calibración. Esta consistió en tomar muestras desde el sector donde se encontraban instalados los sensores y en un horario conocido, llevándolas posteriormente a laboratorio para medir su masa húmeda, secándola en horno y volviendo a medir su masa seca. Luego, se calculó el contenido de agua gravimétrico ( $W$ ) siguiendo la ecuación A, donde “msh” corresponde a masa suelo húmedo y “mss” es masa suelo seco. Luego se calculó el contenido volumétrico de agua ( $\vartheta$ ) siguiendo la ecuación B, donde “Da” es densidad aparente.

$$A) W = \frac{msh - mss}{mss}$$

$$B) \vartheta = W * Da$$

Con el contenido volumétrico de agua calculado por muestreo directo, se tomaron los datos estimados por el sensor a la hora específica en la que fueron tomadas las muestras. Se calculó el cociente entre el contenido volumétrico de agua calculado y el valor estimado por el sensor a la hora específica, generando un factor, el cual fue multiplicado por los valores estimados por el sensor en específico,

estableciendo los valores corregidos. Luego se generó un gráfico de dispersión cuyo eje X consistió en la fecha y el eje Y en los valores calibrados.

### **Análisis estadístico**

Para las variables pertenecientes a la caracterización dendrométrica y ecofisiológica, se trabajó con un modelo completamente aleatorizado con estructura factorial, el cual contempló la interacción parcela (PPP, PPM) x exposición de copa (Este u Oeste). De estas variables, área de sección transversal de tronco consideraba únicamente el factor parcela. Por otra parte, para las variables de física y química de suelos se utilizó un modelo completamente aleatorizado con estructura factorial, que consideró la interacción parcela (PPP, PPM, GPM) x profundidad de muestreo (Físicas: 0-15, 16-30, 31-60; Químicas: 0-30, 31-60).

Para desarrollar el análisis estadístico, se trabajó con el software R-studio. En primera instancia se analizaron los datos y se verificaron los supuestos de normalidad de residuos y homocedasticidad de varianza. Para comprobar el supuesto de normalidad de residuos se utilizó la función “shapiro.test”, y para la homocedasticidad de varianza se hizo uso de “bartlett.test”. En los casos en los que se cumplieron ambos supuestos, se procedió a desarrollar un Análisis de Varianza (ANDEVA) con la función “aov” determinando la potencial existencia de diferencias significativas. Si existía significancia estadística en las diferencias, se desarrolló la comparación múltiple a partir de la librería “DescTools” con la función “PostHocTest”, especificando el método lsd de comparación.

En los casos en los que no se cumplieron los supuestos de normalidad y/o de varianza se procedió a realizar transformaciones. Si aún realizando las transformaciones no se logró obtener una distribución normal y/o homocedasticidad de varianza, a dichos datos se les aplicó un análisis no paramétrico utilizando la función “kruskal.test”, donde en el caso de encontrar diferencias significativas, se utilizó la función “pairwise.willcox.test”, desarrollando así la comparación múltiple entre los tratamientos.

Una vez desarrollado el análisis de varianza para cada grupo de variables, se procedió a compatibilizar los datos para hacerlos comparables entre sí, con el fin de establecer correlaciones y desarrollar un análisis de componentes principales. En este análisis se utilizaron los datos generados en palto parcela pura y palto parcela mixta solamente. Para las variables pertenecientes a la caracterización dendrométrica y ecofisiológica de árboles se procedió a desarrollar un promedio simple de cada variable por parcela experimental. Para el caso de las variables físicas y químicas se desarrolló un promedio ponderado de cada una de ellas obteniendo un único valor promedio.

Para el análisis multivariado se utilizó la librería “psych” con la cual se realizó una matriz de correlaciones con las variables estudiadas. Luego, se hizo un análisis de componentes principales, que se desarrolló con la librería “FactoMineR” con su función “PCA”, y para observar de manera gráfica el porcentaje de explicación de cada componente principal se utilizó la librería “factoextra” con su función “fviz\_eig”. Para el caso del gráfico de contribución de las variables analizadas al componente principal, se utilizó la función “fviz\_contrib” perteneciente a la misma librería. Para este análisis de componentes principales (ACP) se utilizaron únicamente las variables físicas y químicas de suelo.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Climograma

Los datos recogidos por la estación meteorológica Hijuelas revelan que la localidad presenta un clima con temperaturas máximas que bordean los 30°C y temperaturas mínimas cercanas a 0°C, mientras que el promedio de la temperatura oscila entre los 10 y los 20 °C; la radiación solar máxima alcanza sus valores más altos durante los meses de enero, febrero, octubre, noviembre y diciembre (Figura 2). Las precipitaciones se concentran en los meses de junio y agosto, lo que coincide con el porcentaje máximo de humedad relativa. En el mes de enero se registraron precipitaciones estivales inusuales. El porcentaje de humedad relativa se mantiene entre el 70 y el 80% durante el año, y aumenta con la presencia de precipitaciones (Figura 3). De esta información se desprende que la comuna posee una marcada estacionalidad de veranos secos e inviernos lluviosos. Las lluvias son escasas, por lo que la estación seca es prolongada.

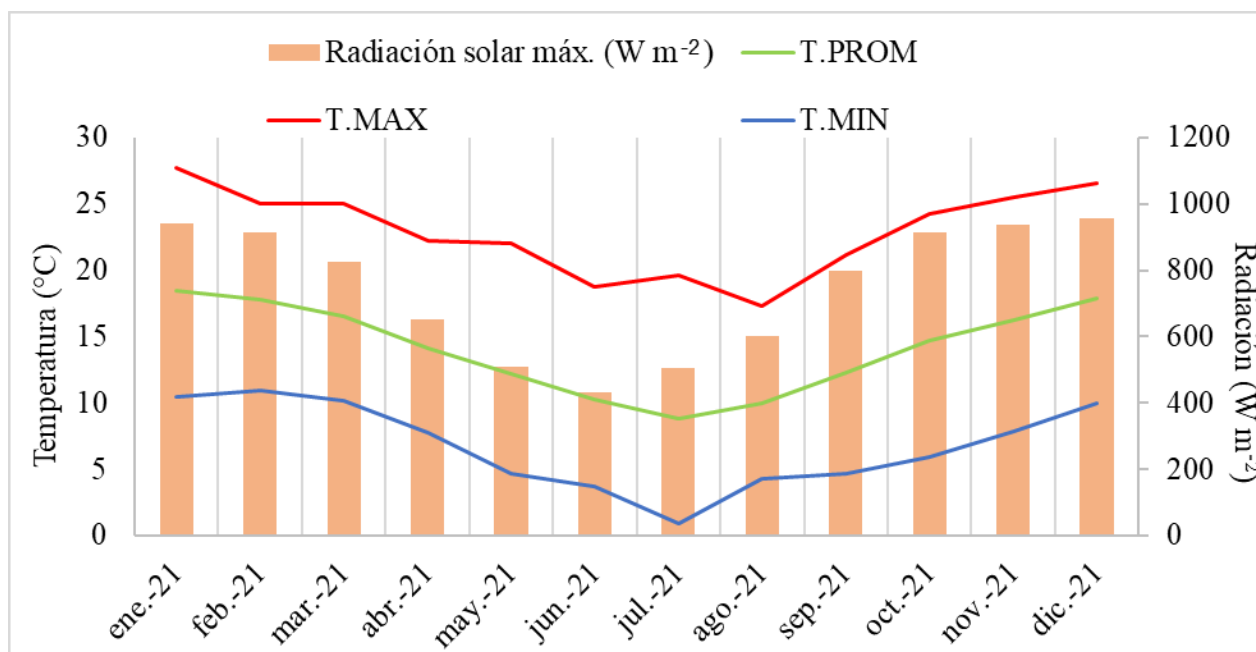


Figura 2. Climograma con temperatura y radiación solar máxima registrada por Estación Meteorológica Hijuelas, región de Valparaíso, Chile.



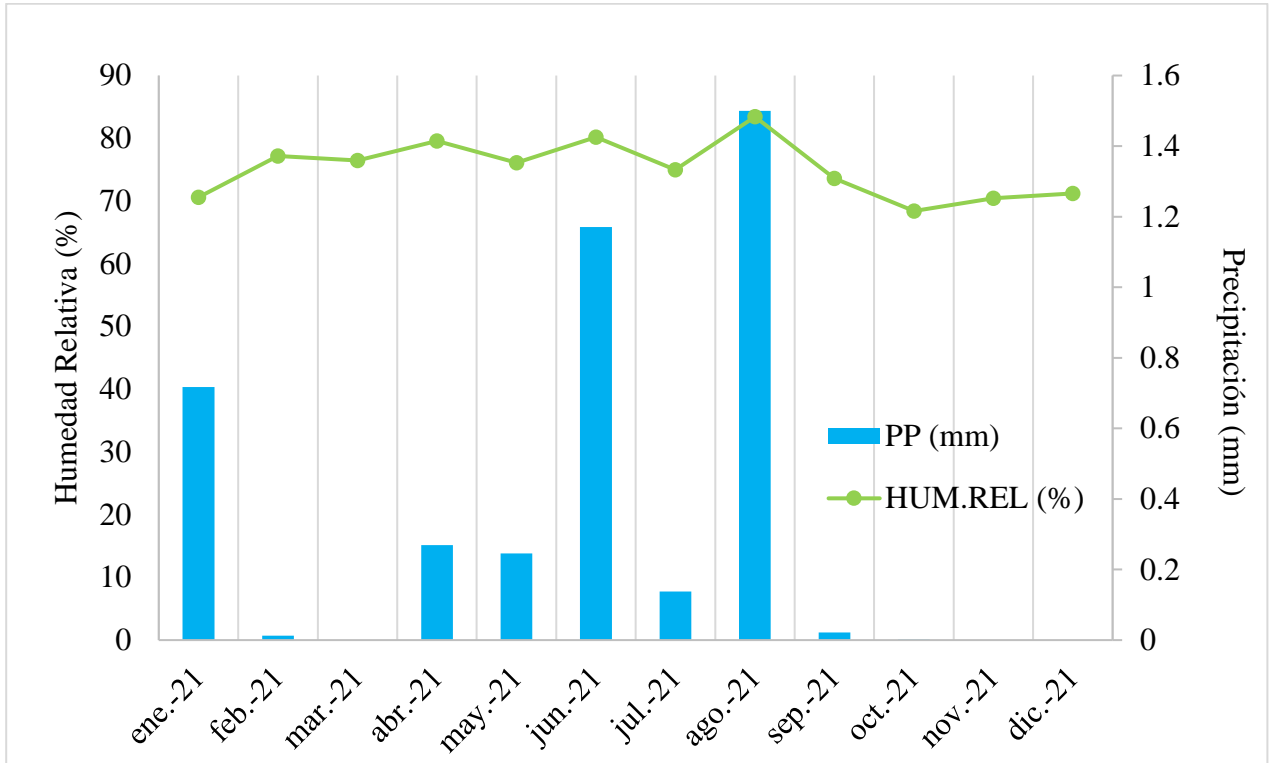


Figura 3. Climograma con precipitación y humedad relativa registrada por estación meteorológica Hijuelas, región de Valparaíso, Chile.

### Caracterización dendrométrica y ecofisiológica

#### Área de sección transversal de tronco

En esta variable no se encontraron diferencias significativas en el factor parcela ( $P = 0.258$ ) cuyos detalles se encuentran en la Figura 4 y el Apéndice I. Para el caso de las parcelas mixtas se registró un promedio de  $630.5 \text{ cm}^2$ , mientras que en las parcelas puras fue de  $720.3 \text{ cm}^2$ . De esta forma se confirma que las unidades experimentales son similares entre sí, por lo se descartan posibles efectos generados por el diseño completamente aleatorizado de este estudio.

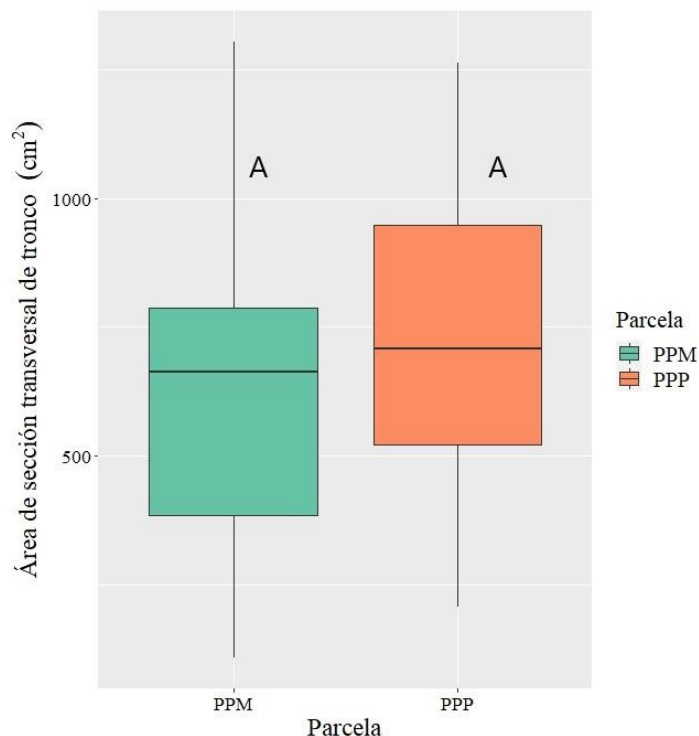


Figura 4. Medias de área de sección transversal de tronco ( $\text{cm}^2$ ) en parcelas experimentales, comuna de Hijuelas, región de Valparaíso. PPM: Parcela palto mixta; PPP: Parcela palto pura. Las barras representan el 50% de los datos centrales y los segmentos que se desprenden de ellas representan en el máximo y mínimo registrado en cada caso. Letras distintas, entre parcelas, indican diferencias significativas según prueba de comparación múltiple LSD Fisher ( $P < 0.05$ ).

### Área foliar específica y densidad de peciolo

Tanto en área foliar específica como en densidad de peciolo (Figura 5) la interacción entre el factor parcela y exposición no resultó significativo ( $P = 0.613$ ;  $P = 0.7843$ , respectivamente; Apéndice II).

En el caso de área foliar específica, las parcelas mixtas exposición este presentaron una media de  $123.78 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$  mientras que la exposición oeste de las mismas parcelas registraron un promedio de  $126.81 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ . En las parcelas puras, la exposición este tuvo un promedio de  $119.71 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ , y la exposición oeste de estas parcelas, registró un promedio de  $120.79 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$ . Los factores parcela y exposición de manera independiente no presentaron diferencias significativas ( $P = 0.1916$ ;  $P = 0.7802$ ), lo cual se puede ver en la Figura 5 donde se manifiesta un comportamiento similar de los factores.

Para las parcelas mixtas exposición este, la densidad de peciolo media consistió en  $422.5 \text{ mg cm}^{-3}$ . Para las parcelas mixtas exposición oeste, el promedio registrado correspondió a  $414.8 \text{ mg cm}^{-3}$ . Las parcelas puras por su parte en su exposición este, registraron un promedio de  $396.3 \text{ mg cm}^{-3}$ , en tanto en la exposición oeste se presentó un promedio de  $402.3 \text{ mg cm}^{-3}$ . Para esta variable, los factores parcela y exposición evaluados de manera independiente no fueron significativas ( $P = 0.384$ ;  $P = 0.9612$ , respectivamente), lo que se traduce en que esta variable se comporta de manera similar en ambos factores como se observa en la Figura 5.

Respecto a estos resultados, Shields (1950) menciona que en cuanto a anatomía de la hoja, los efectos de una baja disponibilidad de nutrientes es mucho mas pequeña que la baja disponibilidad de luz. Por

lo tanto, el efecto general de los nutrientes disponibles sobre AFE es moderado, y solo se expresa cuando existe un crecimiento severamente limitado (Poorter *et al.*, 2009), a partir de esto, se puede mencionar que los palto medidos reciben cantidades similares de luz y que su crecimiento no posee limitaciones. En cuanto a densidad de peciolo, este rasgo al describir la inversión de carbono por unidad de volumen de peciolo además de ser tradicionalmente utilizado por ecologistas como un rasgo funcional clave dentro del estudio de plantas (Chave *et al.*, 2009), nos dice que las unidades experimentales al ser similares entre sí, funcionalmente no existen diferencias gravitantes entre palto de parcelas puras y palto de parcelas mixtas.

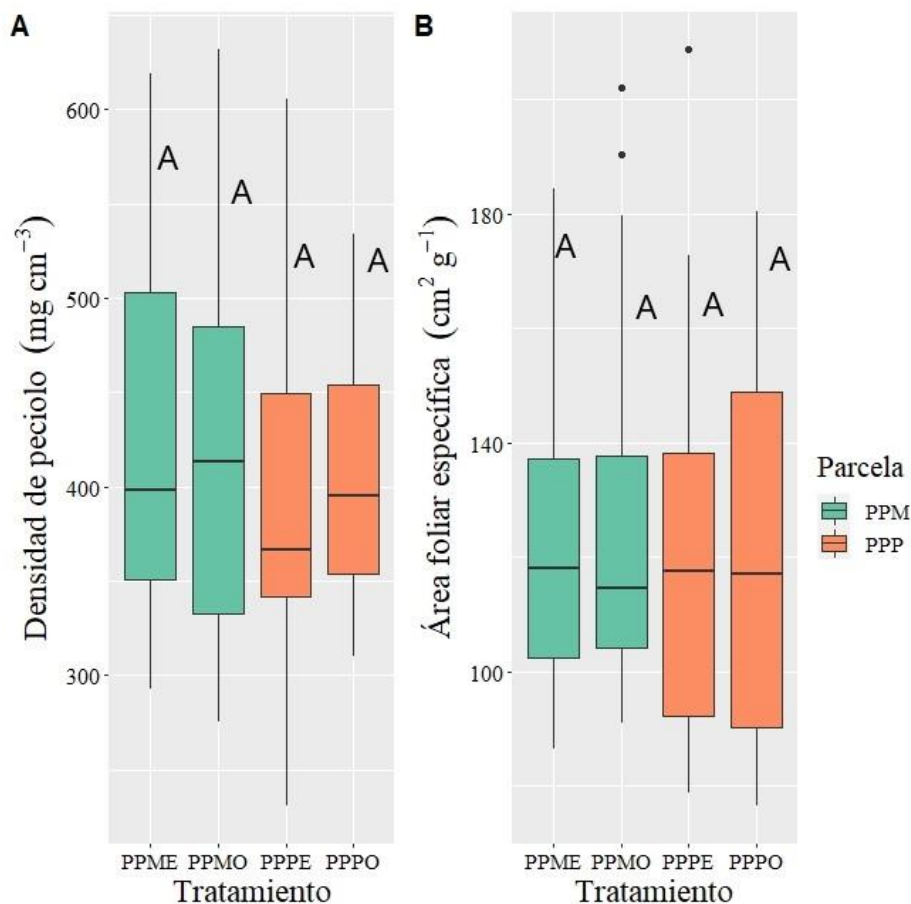


Figura 5. Boxplot de densidad de peciolo y área foliar específica. PPP: palto parcela pura; PPM: palto parcela mixta. Comuna de Hijuelas, región de Valparaíso. Las barras representan el 50% de los datos centrales y los segmentos que se desprenden de ellas representan en el máximo y mínimo registrado en cada caso. Letras distintas, entre factor parcela y exposición de manera independiente, indican diferencias significativas según prueba de comparación múltiple LSD Fisher ( $P < 0.05$ )

### Potencial hídrico xilemático

En los datos de potencial hídrico, medidos tanto antes como después de la aplicación de riego, no se observó un efecto significativo en la interacción parcela x exposición ni en el factor parcela ( $P = 0.72$ ;  $P = 0.907$  para la interacción y  $P = 0.17$ ;  $P = 0.07$  para el factor parcela respectivamente antes y después del riego). El factor exposición, por su parte, presentó diferencias significativas tanto antes como después del riego ( $P = 0.001$ ;  $P = 0.007$ , respectivamente; Apéndice I).

Durante la semana del 10 de mayo se tomaron muestras antes que se aplicara el riego, donde la exposición este registró un promedio de -7.90 bar, mientras que la oeste fue de -8.65 bar. Por otro lado, durante la semana del 15 de marzo se realizaron las mediciones después de la aplicación de riego. Refiriéndonos a la exposición este, se registró un promedio de -7.84 bar, en cambio la exposición oeste fue de -8.93 bar (Figura 6).

El hecho de que solamente en el factor exposición se hayan encontrado diferencias significativas se explica debido al horario en que fueron tomadas las muestras. Al haber sido tomadas alrededor del medio día solar, determina que la radiación proveniente del sol se encontraba incidiendo en la cara oeste de los árboles, afectando los valores medidos. Por esta razón, es posible ver que la exposición oeste registra valores mas bajos de potencial hídrico que la exposición este, tanto antes como después del riego (Apéndice III). A partir de lo investigado por Ferreyra y Sellés (2012), en general, los valores de potencial hídrico encontrados representan niveles moderados de estrés (entre -6 y -10 bar) con algunas mediciones que representan niveles severos (menores a -10 bar). Según lo investigado por Beyá-Marshall, Kremer y Baeza (2020), estos valores pueden deberse al riego por goteo que se aplica, puesto que este al no humedecer el suelo en su totalidad, dejaría porciones de raíces en áreas no humedecidas, provocando valores más negativos de potencial hídrico. Otro elemento que podría explicar estos valores son problemas de salud presente en el sistema radical de los paltos medidos, ya sea plagas, infecciones, aireación deficiente de suelo (Beyá-Marshall, 2020; Ferreyra *et al.*, (2008)). Se esperaría que después de haber recibido riego se presente un mejor estado hídrico, pero esto no ocurre, por lo que es probable que los riegos se estén aplicando antes de que la planta presente un nivel de estrés suficiente para notar efectos en su estado hídrico.

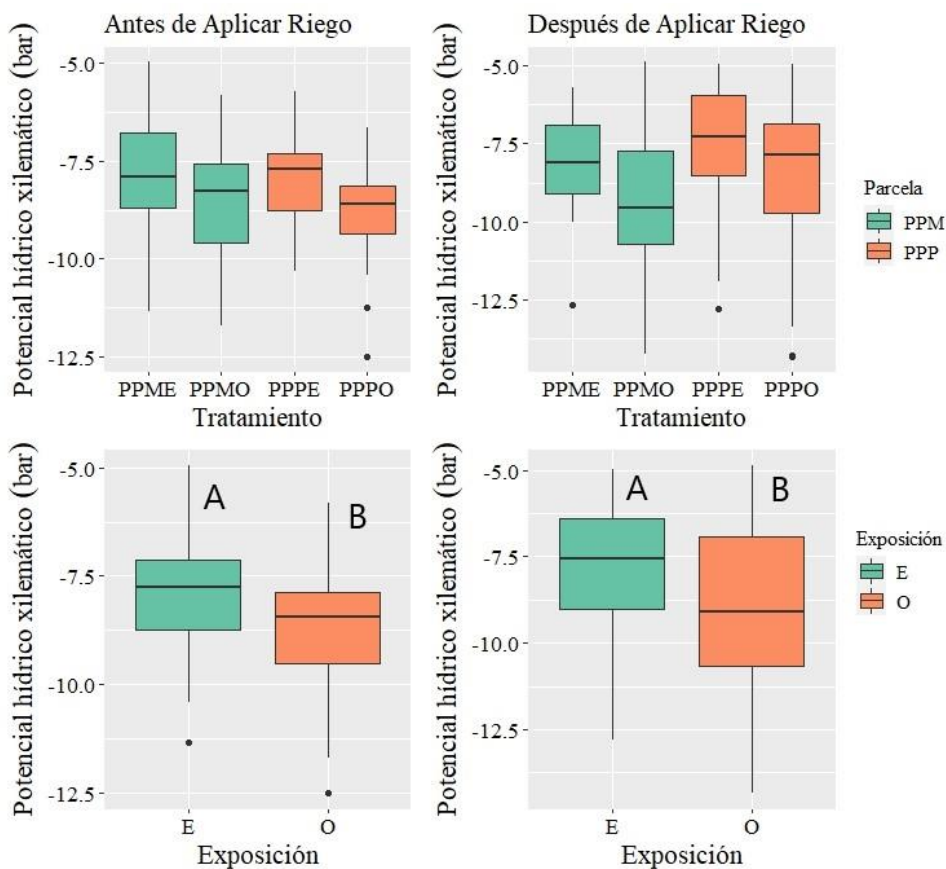


Figura 6. Boxplot con datos de potencial hídrico xilemático registrado antes de aplicación de riego (izquierda) y después de la aplicación de riego (derecha) en paltos según parcela, comuna de Hijuelas, región de Valparaíso. Las barras representan el 50% de los datos centrales y los segmentos que se desprenden de ellas representan en el máximo y mínimo registrado en cada caso. PPME: parcela mixta exposición este; PPMO: parcela mixta exposición oeste; PPPE: parcela pura exposición este; PPPO: parcela pura exposición oeste. Letras distintas, entre exposición, indican diferencias significativas según prueba de comparación múltiple LSD Fisher ( $P < 0.05$ ), donde las comparaciones se realizan antes de riego y después de riego de manera independiente.

### Conductancia Estomática

Durante la semana del 10 de mayo se tomaron las muestras de conductancia estomáticas antes de la aplicación de riego (Figura 7). Se observaron diferencias significativas en los factores de esta variable ( $P = 0.03$ ). Las parcelas mixtas exposición oeste presentaron diferencias estadísticamente significativas con las parcelas puras exposición este ( $P = 0.046$ ; Apéndice IV). De esta manera, las parcelas mixtas exposición este registraron un promedio de  $160.42 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , mientras que las parcelas mixtas exposición oeste registraron una media de  $270.65 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

Las parcelas puras exposición este tuvieron un promedio de  $138.75 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Por otra parte, las parcelas puras exposición oeste tuvieron un valor promedio de  $211.24 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

Durante la semana del 24 de mayo se tomaron las muestras de conductancia estomática después de la aplicación de riego (Figura 7) donde se observaron diferencias significativas entre sus factores ( $P = 0.006$ ). Las parcelas mixtas exposición oeste presentaron diferencias significativas con las parcelas puras exposición este ( $P = 0.014$ ; Apéndice V), además, las parcelas puras exposición este presentaron diferencias significativas con las parcelas puras exposición oeste ( $P = 0.045$ ). En este contexto, las parcelas mixtas exposición este, registraron un promedio de  $258.8 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Las parcelas mixtas exposición oeste poseen una media de  $334 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

Las parcelas puras exposición este poseen un promedio de  $219.5 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , mientras que las parcelas puras exposición oeste, tienen un promedio de  $316.4 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

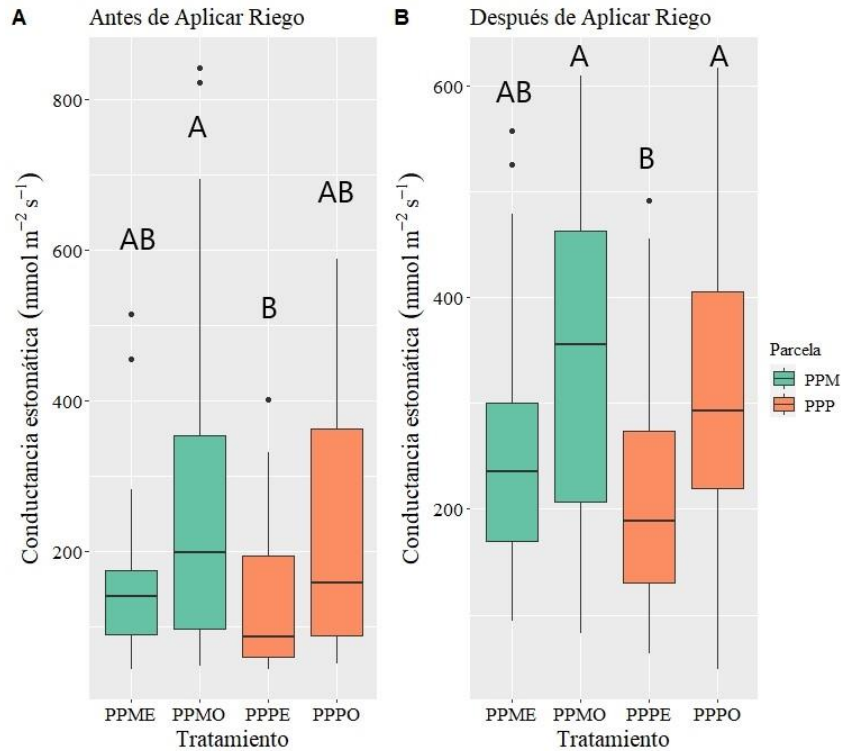


Figura 7. Boxplot con datos de conductancia estomática en paltos según parcela experimental. Comuna de Hijuelas región de Valparaíso. A) Conductancia estomática medida antes de aplicación de riego. B) Conductancia estomática medida después de la aplicación de riego. Las barras representan el 50% de los datos centrales y los segmentos que se desprenden de ellas representan en el máximo y mínimo registrado en cada caso. PPME: palto parcela mixta exposición este; PPMO: palto parcela mixta exposición oeste; PPPE: palto parcela pura exposición este; PPPO: palto parcela pura exposición oeste. Letras distintas, entre tratamientos, indican diferencias significativas según prueba de comparación múltiple LSD Fisher ( $P < 0.05$ ), donde las comparaciones se realizan antes de riego y después de riego de manera independiente.

Para esta variable, ocurrió algo similar a lo que se observó para potencial hídrico. Antes de aplicar riego, las diferencias significativas estuvieron entre PPMO ( $270.65 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) y PPPE ( $138.75 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), mientras que después de aplicar el riego, las diferencias las tuvieron PPMO ( $334 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) y PPPO ( $316.4 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) con PPPE ( $219.5 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Por lo tanto, nuevamente se puede ver una influencia del factor exposición, que se explica debido a que la radiación estaba incidiendo en la cara oeste de los paltos, lo que generó la tendencia a elevar los valores de conductancia estomática. Por último, al evaluar posibles diferencias significativas entre los valores generados antes de aplicar el riego, con aquellos generados después de aplicar el riego (Apéndice VI), se encontró que después de la aplicación del riego, los valores de conductancia estomáticas son significativamente mayores ( $P = 1 \cdot 10^{-4}$ ).

En cuanto a la relación entre conductancia estomática y potencial hídrico, se puede concluir que la sensibilidad que tiene la conductancia estomática al factor luz y riego es mayor a la que posee el potencial hídrico. Esto debido a que la conductancia estomática, además de tener diferencias significativas para el factor exposición, tanto antes como después del riego de manera independiente (efecto luz), también presentó diferencias significativas en la comparación entre ambas situaciones hídricas (efecto riego), lo que no ocurrió con el potencial hídrico, donde la presencia de riego no generó

diferencias significativas. Esto también podría denotar que los paltos están siendo regados antes de experimentar algún grado de estrés hídrico. Por otra parte, se esperaría que los valores de conductancia estomática fuesen similares antes y después del riego, ya que esta variable está determinada por el potencial hídrico xilemático. Sin embargo, es sabido que los estomas de palto no sólo responden al potencial hídrico, sino que también responden a otros factores, dentro de los cuales se encuentra la radiación fotosintéticamente activa (Sterne *et al.*, 1977) y la acción de fitohormonas como es el caso del ácido abscísico, el cual regula el proceso de cierre de estomas cuando la planta comienza a sufrir deshidratación (Leung y Giraudat, 1998). Por lo tanto, es probable que los paltos sean sensibles al ácido abscísico, el cual frente a la ausencia de riego, aumentaría su concentración estimulando un cierre parcial de estomas (Taiz y Zeiger, 2010; Leung y Giraudat, 1998).

### Propiedades físicas de suelo

Respecto a la textura de los suelos, para el caso de arenas y limos no se observó efecto significativo en la interacción parcela x profundidad ( $P = 0.99$ ;  $P = 0.96$ , respectivamente), en el factor parcela ( $P = 0.40$ ;  $P = 0.52$  respectivamente) ni en el factor profundidad ( $P = 0.22$ ;  $P = 0.58$ , respectivamente). Para el caso del porcentaje de arcillas, tampoco se observó efecto significativo en la interacción parcela x profundidad ( $P = 0.70$ ) ni en el factor parcela ( $P = 0.39$ ), en cambio, en el factor profundidad se presentaron diferencias significativas ( $P = 0.008$ ). A partir de estos resultados es posible determinar una predominancia de suelos Franco Arenosos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Medias Valores de textura de suelos y densidad real en función de la profundidad del suelo en paltos según parcela. Hijuelas, región de Valparaíso.

Parcela	Profundidad	% ARENAS	% ARCILLA	% LIMOS	CLASE TEXTURAL	Dr	CV(Dr)
PPP	0-15	59.61	14.23	26.16	Franco arenoso	2.58±0.06 <b>AB</b>	2.27
	16-30	62.17	13.97	23.85	Franco arenoso	2.66±0.10 <b>A</b>	3.86
	31-60	57.85	16.27	25.88	Franco arenoso	2.58±0.07 <b>AB</b>	2.53
PPM	0-15	54.63	16.49	28.88	Franco arenoso	2.42±0.11 <b>CD</b>	4.59
	16-30	61.27	12.57	26.16	Franco arenoso	2.36±0.16 <b>D</b>	6.74
	31-60	55.48	19.26	25.26	Franco arenoso/Franco Arcillo Arenoso	2.47±0.12 <b>BCD</b>	5.02
GPM	0-15	60.41	14.59	25.00	Franco arenoso	2.21±0.02 <b>E</b>	0.97
	16-30	64.76	12.00	23.23	Franco arenoso	2.33±0.07 <b>DE</b>	3.01
	31-60	59.16	16.38	24.46	Franco arenoso	2.56±0.12 <b>ABC</b>	4.51

PPP: palto parcela pura; PPM: palto parcela mixta; GPM: guayacán parcela mixta; Dr: Densidad real. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas según prueba de comparación múltiple LSD Fisher ( $P < 0.05$ ).

En la densidad real se observaron efectos significativos para la interacción parcela x profundidad ( $P = 0.007$ ; Apéndice VII). Estas diferencias están graficadas en el Apéndice VIII. La densidad real corresponde al resultado de la masa de un suelo seco en un volumen de sólidos. En suelos de mineralogía cristalina se considera como valor típico  $2.65 \text{ g cm}^{-3}$ , sin embargo, pueden encontrarse valores menores en aquellos suelos donde existen aportes importantes de materia orgánica (Sandoval *et al.*, 2012). Los promedios de las densidades reales encontradas fluctúan entre  $2.21 \pm 0.02$  y  $2.66 \pm 0.10 \text{ g cm}^{-3}$ , donde GPM presenta los valores más bajos de densidad real, lo cual puede deberse a los niveles

y composición de materia orgánica que puede estar aportando la presencia de guayacán dentro del huerto (Chaudari *et al.*, 2013).

En la densidad aparente (Figura 8) no se presentó un efecto significativo de la interacción parcela x profundidad ( $P = 0.23$ ), pero sí por separado los factores parcela ( $P = 0.0141$ ) y profundidad ( $P = 0.043$ ). En la Figura 8A es posible observar que PPM y GPM poseen valores de densidad aparente similares entre sí ( $1.25$  y  $1.29 \text{ g cm}^{-3}$ , respectivamente), y a su vez, estos son menores a los registrados en PPP ( $1.46 \text{ g cm}^{-3}$ ). Por otro lado, en la Figura 8B se observa que a medida que aumenta la profundidad en el perfil, los valores de densidad aparente tienden a aumentar; además, es posible ver la distribución de los valores, cuyos mínimos corresponden a  $0.98 \text{ g cm}^{-3}$  y el máximo alcanza un valor de  $1.76 \text{ g cm}^{-3}$ .

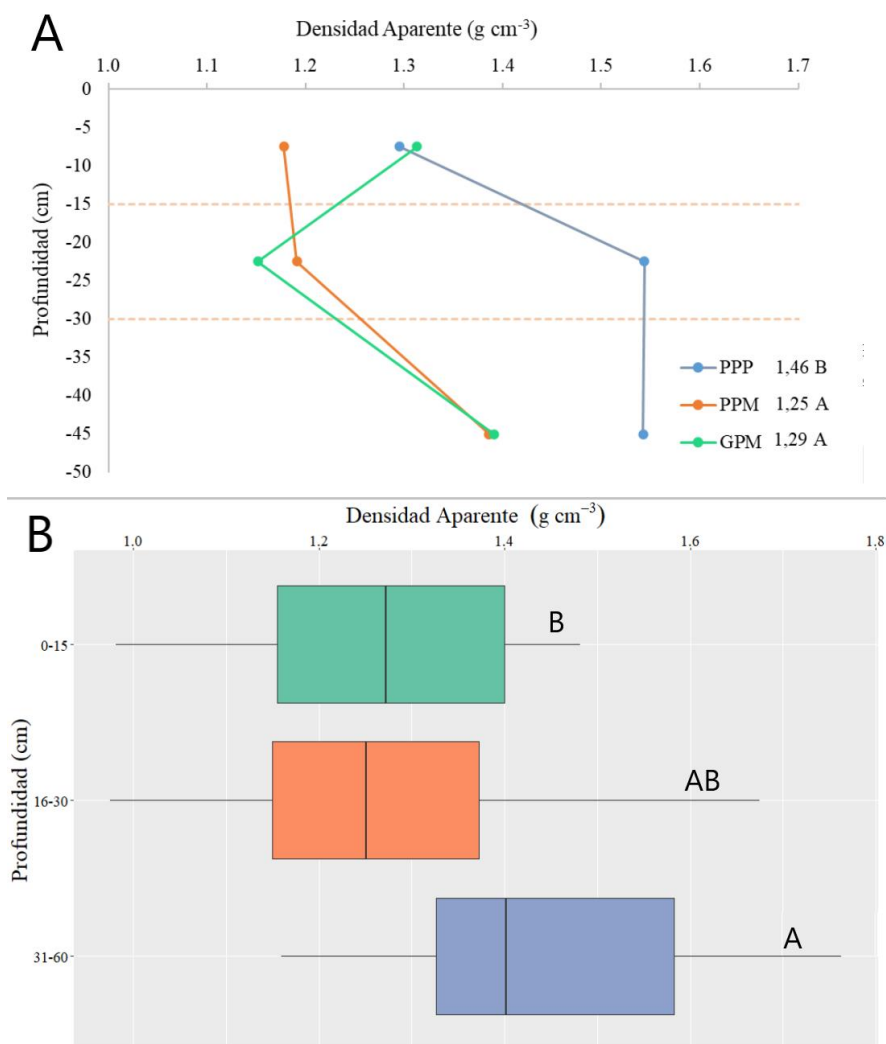


Figura 8. A) Promedio de densidad aparente perteneciente a factor parcela. B) Promedio densidad aparente perteneciente a factor profundidad. PPP: Palto parcela pura; PPM: Palto parcela mixta; GPM: Guayacán parcela mixta. Letras distintas en factor parcela y profundidad de manera independiente indican diferencias significativas según prueba de comparación múltiple LSD Fisher ( $P < 0.05$ ).

Estos valores están dentro del rango que Ferreyra *et al.* (2008), sostienen que se encuentran las plantaciones de palto en Chile, y que varían entre  $1.3$  y  $1.5 \text{ g cm}^{-3}$ . A su vez, coinciden con lo expuesto



por Nájera *et al.* (2006), quienes desarrollaron una caracterización de los suelos de la región de Valparaíso cultivados con palto, concluyendo que el intervalo en el que se encuentra la densidad aparente se encuentran entre 1.1 y 1.4 g cm<sup>-3</sup>. En la Figura 8A se presentan también los promedios observados en cada parcela. De esta manera, se determinó que los árboles de parcelas mixtas poseen valores promedio más bajos que palto parcela pura, lo cual se traduce en que las parcelas mixtas tienen mejores condiciones de porosidad total, permeabilidad y aireación de suelo (Seguel *et al.*, 2003), lo que propicia la exploración radical de los vegetales.

Casanova *et al.* (2020), elaboraron a partir de una adaptación del trabajo realizado por Landon (1984), Lal (1994), Cass (1999), Hazelton y Murphy (2016) y Nwosu y Okon (2020) factores relativos de ponderación basados en umbrales de indicadores de física de suelos, esto con el objetivo de utilizar el enfoque de calificación acumulativa (Anexo 1), es decir, se suman los factores relativos de ponderación y otorgan un valor que en el caso de la investigación significa un nivel de sostenibilidad del uso de la tierra específico (Anexo 2). Los umbrales definen el grado de limitación que implican los distintos niveles específicos de propiedades físicas de suelo. Para el caso de la densidad aparente, si se comparan los valores medidos en este estudio, se observa que PPP se encuentra “severamente limitado”, teniendo un factor relativo de ponderación de 4, mientras que, tanto GPM como PPM, están “levemente limitados” teniendo un factor de ponderación de 2, por lo que poseen mejores condiciones de densidad aparente. Además, en el caso hipotético de que se aplicara la calificación acumulativa, por el hecho de poseer un factor de ponderación menor, estarían aportando un nivel más alto de sostenibilidad en el uso de la tierra. Es por esto que este resultado es revelador dentro de esta investigación, ya que denota que la presencia de guayacán dentro del huerto impacta de manera positiva en esta propiedad, impacto que se registra también en los paltos circundantes a él (PPM).

Los datos de porosidad total no presentaron efectos significativos para la interacción parcela x profundidad (P = 0.24), ni para ninguno de los factores por separado (parcela y profundidad, P = 0.56; P = 0.40 respectivamente). Lo mismo ocurrió con los poros de drenaje lento, los cuales no presentaron efectos significativos para la interacción parcela x profundidad (P = 0.18), así como tampoco hubo efectos para el factor parcela (P = 0.09) y profundidad (P = 0.95). Los resultados se encuentran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Medias de porosidad total y poros de drenaje lento en paltos según parcela y profundidad. Hijuelas, región de Valparaíso.

Parcela	Profundidad	PT(%)	PDL(%)
PPP (A)	0-15	49.79	8.65
	16-30	42.12	3.95
	31-60	40.48	3.68
PPM (A)	0-15	49.62	4.72
	16-30	48.17	5.18
	31-60	47.57	5.67
GPM (A)	0-15	40.55	2.88
	16-30	50.43	3.90
	31-60	45.61	4.39

PPP: palto parcela pura; PPM: palto parcela mixta; GPM: guayacán parcela mixta; PT: Porosidad total; PDL: Poros drenaje lento. Letras distintas indican diferencias significativas en factor parcela según prueba de comparación múltiple LSD Fisher (P<0.05).

Para poros de drenaje rápido (Figura 9), no se observaron efectos de la interacción parcela x profundidad ( $P = 0.11$ ), tampoco se observaron diferencias significativas en el factor profundidad ( $P = 0.15$ ). Sin embargo, se encontraron diferencias significativas en el factor parcela ( $P = 0.006$ ), en las cuales los PPP tienen diferencias con PPM, en tanto GPM es similar tanto a PPP como a PPM. PPP sigue una tendencia a disminuir en profundidad, PPM aumenta para luego disminuir, mientras que GPM tiende a mantenerse en el mismo nivel en el perfil.

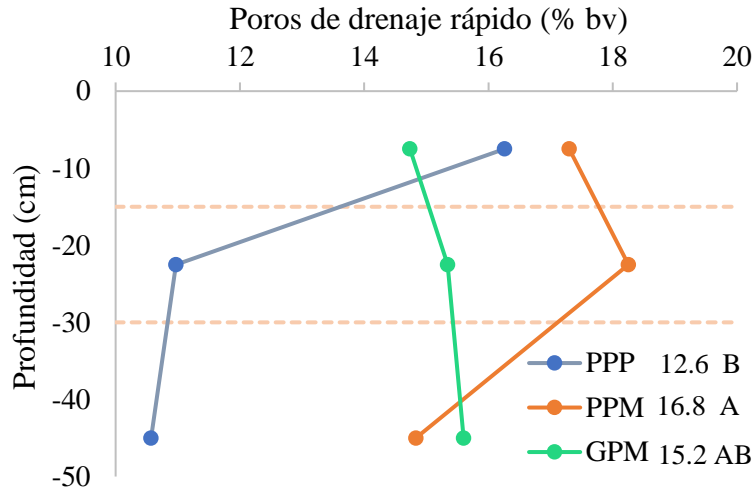


Figura 9. Promedio de poros de drenaje rápido en factor parcela. PPP: palto parcela pura; PPM: palto parcela mixta; GPM: guayacán parcela mixta. Letras distintas, entre parcelas, indican diferencias significativas según prueba de comparación múltiple LSD Fisher ( $P < 0.05$ ).

Según Ferreyra (2017), para paltos “el contenido de aire en el suelo que no limita intercambio gaseoso ( $O_2$  y  $CO_2$ ) y el crecimiento de raíces es del 30%”. Los valores de macroporosidad encontrados en las parcelas experimentales del sitio de estudio van de 5.34% a 21.61%, por debajo de lo que Ferreyra (2017), sostiene como lo óptimo para el desarrollo de paltos. Por otra parte, los valores observados se encuentran dentro del rango que Nájera (2006), encontró en su investigación (15 a 20%). Al comparar los paltos de las parcelas mixtas con los de las parcelas puras, las primeras presentan un porcentaje mayor de macroporos en las dos primeras profundidades, lo que le otorga mejores condiciones de aireación, disminuyendo probabilidades de deficiencias en el contenido de aire que puedan afectar el crecimiento de raíces (Beyá-Marshall *et al.* 2020). Con respecto a los umbrales propuestos por Casanova *et al.* (2020), se tiene que PPP tiene una “limitación severa”, mientras que GPM y PPM poseen una “limitación moderada”. Al considerar la calificación acumulativa, esta variable aportaría en mayor medida a aumentar la sustentabilidad del uso de suelo, estableciendo que tanto GPM como PPM tienen mejores condiciones de poros de drenaje rápido que PPP.

Los resultados de poros de drenaje rápido (PDR) en GPM coinciden con lo que se registró en su curva de mojado y secado de suelo (Apéndice IX). Esto muestra que GPM retiene mayor cantidad de agua que PPP, sin embargo, la cantidad de agua disminuye rápidamente después de cada riego lo que podría explicarse por los valores encontrados de PDR, favoreciendo el drenaje rápido del agua en profundidad (Dörner *et al.*, 2016). Además, GPM, al estar en su mayoría fuera de camellón, se encuentra más cercano al sustrato pedregoso de matriz gruesa, por lo que experimentaría un drenaje rápido y poca retención de agua. En cuanto a PPP, su curva de mojado y secado (Apéndice X), junto de los valores de PDR encontrados, demuestra que hay un sobre aplicación de riego al estar aplicando cantidades de

agua mayores a capacidad de campo, lo que podría propiciar problemas de asfixia radicular (Ferreyra, 2017; Gil *et al.*, 2007).

En capacidad de campo (retención de agua a -33 kPa) no se registraron efectos significativos de la interacción parcela x profundidad ( $P = 0.07$ ). El factor parcela por su parte presentó diferencias significativas ( $P = 0.04$ ) mientras que el factor profundidad no presentó diferencias ( $P = 0.47$ ). Para punto de marchitez permanente (retención de agua a -1500 kPa), se observaron diferencias significativas de la interacción parcela x profundidad ( $P = 0.01$ ). Los resultados se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Medias de contenido volumétrico de agua a capacidad de campo, punto de marchitez permanente y equivalente de columna de agua aprovechable en el perfil (0-60 cm), en paltos según parcela. Hijuelas, región de Valparaíso.

Parcela	Profundidad	CC (%)	Parcela	Profundidad	PMP (%)	HA (mm)
PPP (21.75 AB)	0-15	20.45	PPP	0-15	10.44 <b>cd</b>	67.85
	16-30	20.57		16-30	12.05 <b>bcd</b>	
	31-60	24.22		31-60	10.87 <b>cd</b>	
PPM (22.15 A)	0-15	23.97	PPM	0-15	14.23 <b>ab</b>	60.69
	16-30	20.32		16-30	9.09 <b>d</b>	
	31-60	22.16		31-60	12.4 <b>bc</b>	
GPM (19.29 B)	0-15	20.75	GPM	0-15	15.81 <b>a</b>	26.89
	16-30	19.98		16-30	15.71 <b>a</b>	
	31-60	17.15		31-60	12.78 <b>abc</b>	

PPP: palto parcela pura; PPM: palto parcela mixta; GPM: guayacán parcela mixta; CC: Capacidad de campo; PMP: Punto de marchitez permanente; HA (mm): altura de columna de agua (mm) en el perfil. Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas en la CC del factor parcela, en tanto letras minúsculas distintas indican diferencias significativas en PMP de la interacción parcela x profundidad. Todas las diferencias según prueba de comparación múltiple LSD Fisher ( $P < 0.05$ ).

CC y PMP dependen de la textura del suelo, pero además la CC depende de la estructura (Sandoval *et al.*, 2012). En este caso, que a nivel de parcela la CC haya presentado diferencias estadísticas significativas no es relevante, ya que la diferencia entre 19.3 y 21.8% del GPM y el PPP es despreciable en el sentido práctico. Por otra parte, los mayores niveles de punto de marchitez permanente en GPM expuestos en su curva característica de suelo (Apéndice XI) podrían responder a los mayores niveles de materia orgánica humificada, que se caracteriza por aumentar la retención de agua (Patil y Singh, 2016), disminuyendo así el equivalente en mm del perfil completo. Esto se sostiene puesto que la textura de suelo medida en cada una de las parcelas resultó ser franco arenosa, sin tener variaciones importantes, por lo tanto, factores como la materia orgánica podría estar explicando este resultado.

En los poros de agua útil (Figura 10), no se presentaron diferencias significativas para la interacción parcela x profundidad ( $P = 0.49$ ), ni para el factor profundidad ( $P = 0.71$ ), pero sí se observaron diferencias a nivel de parcelas ( $P = 4.49e^{-04}$ ). En este último, PPM y PPP poseen diferencias significativas con GPM. Se cree que la presencia de camellón influyó en estos valores, ya que tres de los cuatro guayacanes sometidos a estudio no se encontraban en camellón, sumado a que las condiciones de suelo encontradas en terreno eran pedregosas (Apéndice XII). Según Hamilton *et al.* (2000), el cultivo sobre camellones propicia suelos más profundos en comparación a cultivos normales, otorgando propiedades tales como mayor capacidad de absorción de agua lluvia, aumento en la

cantidad de agua aprovechable, mejor drenaje de exceso de agua del suelo y conservar más agua que una cama de cultivo tradicional.

Por otra parte, en un estudio desarrollado por He *et al.* (2012), en China entre los años 2005 y 2009, se compararon los almacenamientos de agua del suelo bajo tres tratamientos compuestos por camellón permanente, sin labranza y con labranza tradicional. Los autores encontraron que en el caso del camellón permanente, hubo una tendencia constante en la mejora estructural del suelo desde el año 2006, reflejado en un aumento significativo del almacenamiento de agua en suelo comparado con labranza tradicional, evidenciando los impactos positivos del tratamiento en esta variable.

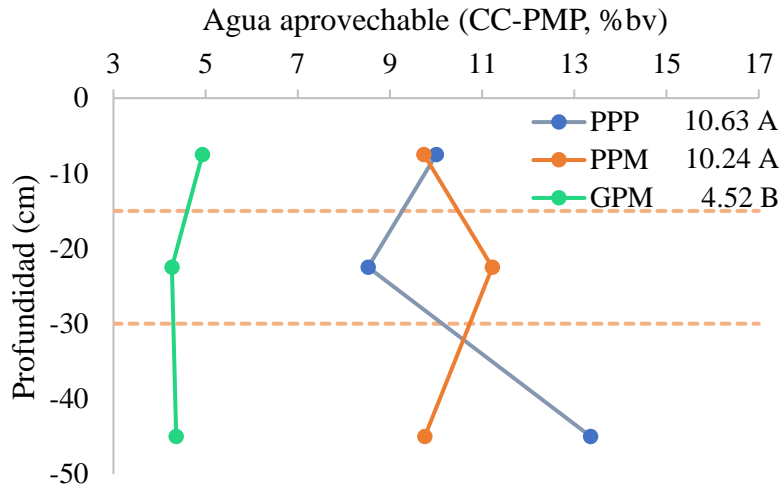


Figura 10. Promedio de agua útil en factor parcela. PPP: palto parcela pura; PPM: palto parcela mixta; GPM: guayacán parcela mixta. Letras distintas, entre parcelas, indican diferencias significativas según prueba de comparación múltiple LSD Fisher ( $P < 0.05$ ).

### Propiedades químicas de suelo

Con respecto al pH, no se presentó efecto significativo de la interacción parcela x profundidad ( $P = 0.88$ ), ni del factor profundidad ( $P = 0.23$ ), no así el factor parcela, el cual presentó diferencias significativas ( $P = 0.003$ ) donde GPM (6.40) fue menor a PPP (6.84) y PPM (6.85), donde estos últimos poseen valores similares (Cuadro 4). Esto se traduce en que bajo guayacán (GPM) existe una mayor acidez respecto a la condición bajo palto (PPP y PPM). Los valores registrados resultan ser más ácidos que los que se exponen en el estudio agrológico de la región de Valparaíso, Serie OCOA, los cuales rondan entre 7.3 y 7.8 (CIREN, 2016). Los valores de pH se encuentran en niveles deseables, ya que según lo expuesto por Martínez *et al.* (2014), sobre 7.5 esta variable afectaría las producciones.

Cuadro 4. Propiedades químicas de suelo en función de la profundidad en paltos según parcela. Hijuelas, región de Valparaíso.

Parcela	Profundidad	pH	Parcela	Profundidad	C.E (dS m <sup>-1</sup> )
PPP (6.84 A)	0-30	6.82	PPP (1.10 b)	0-30	1.11
	31-60	6.87		31-60	1.08
PPM (6.85 A)	0-30	6.78	PPM (1.28 b)	0-30	1.44
	31-60	6.93		31-60	1.11

Parcela	Profundidad	pH	Parcela	Profundidad	C.E (dS m <sup>-1</sup> )
GPM (6.40 B)	0-30	6.32	GPM (2.74 a)	0-30	3.61
	31-60	6.49		31-60	1.88

PPP: palto parcela pura; PPM: palto parcela mixta; GPM: guayacán parcela mixta; C.E: Conductividad eléctrica. Letras mayúsculas distintas indican diferencias significativas para el factor parcela en variable pH; Letras minúsculas distintas indican diferencias significativas para el factor parcela en variable C.E, todas según prueba de comparación múltiple LSD Fisher ( $P < 0.05$ ).

En la conductividad eléctrica (CE), la interacción parcela x profundidad no presentó efectos significativos ( $P = 0.49$ ), al igual que el factor profundidad ( $P = 0.16$ ). El factor parcela sí presentó diferencias ( $P = 0.02$ ), donde guayacán parcela mixta posee valores más altos que las parcelas restantes (Cuadro 4). Esta variable se relaciona directamente con la cantidad de sales presentes en el suelo. Según Ayers y Westcot (1985), a mayor cantidad de sales mayor es el valor de conductividad eléctrica, lo que impacta de manera negativa en la disponibilidad de agua, ya que aumenta la fuerza que la planta debe ejercer para absorberla por un efecto sobre el potencial osmótico, elemento constitutivo del potencial hídrico. Respecto a lo observado en PPM y PPP, según lo expuesto por Crowley (2008), sobre 0.65 dS m<sup>-1</sup> el palto comienza a ver afectado su desarrollo, por lo que se estarían generando problemas para el cultivo que podrían estar mermando su productividad. Esta situación denota que existe una acumulación de sales en la superficie y a la larga se generarían problemas en cuanto a la absorción de agua de los paltos. Por otro lado, el hecho de que los GPM estén en su mayoría fuera de camellón, los posiciona a mayor distancia de la línea de goteo, por lo tanto, es más complejo que exista un transporte de sales hacia horizontes más profundos de suelo en comparación con los paltos, que se encuentran bajo la línea de goteo.

En los datos correspondientes al nitrógeno (Figura 15), no se encontraron efectos significativos (Apéndice XIII) tanto en la interacción parcela x profundidad ( $P = 0.27$ ) como en el factor profundidad de manera independiente ( $P = 0.44$ ). El factor parcela por su parte, registró diferencias significativas ( $P = 6.25e^{-04}$ ), donde el guayacán en parcela mixta (GPM) presentó el valor más alto (88 mg kg<sup>-1</sup>), teniendo diferencias con paltos de parcelas mixtas (14 mg kg<sup>-1</sup>) y paltos de parcelas puras (21 mg kg<sup>-1</sup>), los cuales no poseen diferencias entre sí. Respecto al porcentaje de materia orgánica, este no presentó un efecto procedente de la interacción parcela x profundidad ( $P = 0.47$ ), pero sí presentó diferencias en los factores por separado (parcela,  $P = 5.27e^{-03}$ ; profundidad,  $P = 2.53e^{-03}$ ). En este caso, GPM (7.18%) tuvo el valor más alto, seguido por PPM (6,37%), ambos con diferencias significativas con PPP (4.53%). Por otro lado, de 0-30 cm se encontraron los valores más altos, con 7.06%, mientras que de 30-60 cm se registraron valores promedios de 5%.

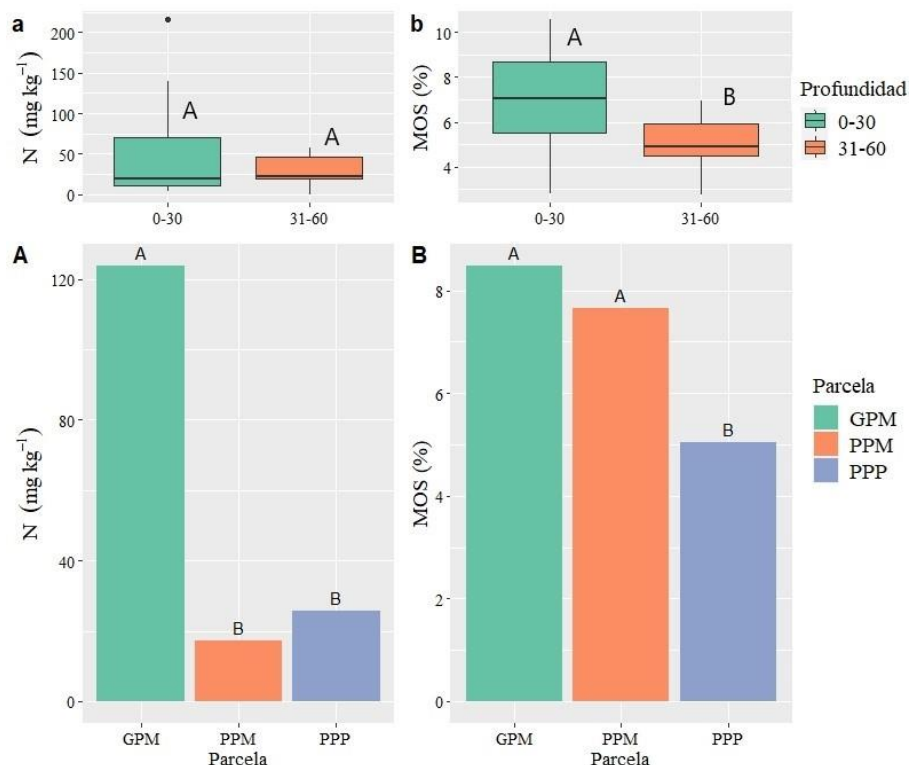


Figura 15. Promedio de nitrógeno (A) y materia orgánica (B) en parcelas, junto con respectivos boxplot por profundidad identificados por la misma letra en minúscula. GPM: guayacán parcela mixta; PPM: palto parcela mixta; PPP: palto parcela pura. Letras distintas entre parcelas y entre profundidades de manera independiente, indican diferencias significativas según prueba de comparación múltiple LSD Fisher ( $P < 0.05$ ).

El fósforo (Figura 16), no presentó efectos significativos de la interacción parcela x profundidad ( $P = 0.26$ ), no así en el factor parcela ( $P = 7.63e^{-06}$ ) y en el factor profundidad ( $P = 5.97e^{-04}$ ) ambos con significancia estadística. Los valores más altos se presentaron en GPM ( $54 \text{ mg kg}^{-1}$ ), los cuales tuvieron diferencias significativas con PPM ( $19 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y PPP ( $30 \text{ mg kg}^{-1}$ ), los cuales no poseían diferencias entre sí. En cuanto a profundidad el horizonte superficial (0-30cm) poseía mayor cantidad de fósforo que en profundidad (30-60cm). El potasio (Figura 16), por su parte, no presentó efectos significativos de la interacción parcela x profundidad ( $P = 0.79$ ). Sin embargo, tanto en el factor parcela ( $P = 2.62e^{-05}$ ) como profundidad ( $P = 2.37e^{-04}$ ) fueron significativos. Se encontró que GPM poseía los valores más altos ( $502 \text{ mg kg}^{-1}$ ), teniendo diferencias con PPM ( $210 \text{ mg kg}^{-1}$ ) y PPP ( $210 \text{ mg kg}^{-1}$ ), los cuales no presentaron diferencias entre sí. Respecto a la profundidad, el horizonte de 0-30cm poseía el contenido más alto de este macronutriente.

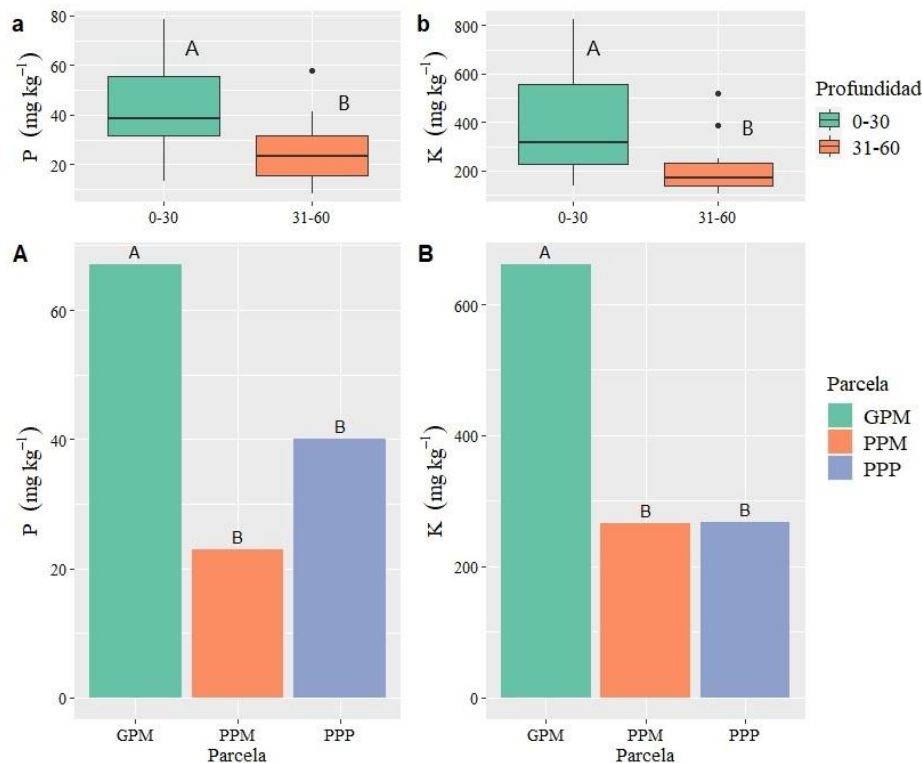


Figura 16: Promedio de fósforo (A) y potasio (B) en función de la profundidad, junto con respectivos boxplot por profundidad identificados por la misma letra en minúscula. GPM: guayacán parcela mixta; PPM: palto parcela mixta; PPP: palto parcela pura. Letras distintas entre parcelas y entre profundidades de manera independiente, indican diferencias significativas según prueba de comparación múltiple LSD Fisher ( $P < 0.05$ ).

Para el caso del nitrógeno, fósforo y potasio, se puede identificar un patrón, donde GPM posee los valores más altos y tanto PPM como PPP son iguales entre sí y registran valores inferiores a GPM. Esto podría explicarse debido a la remoción de nutrientes generado al momento de la cosecha en paltos, donde según Rosencrance *et al.* (2012), dicha remoción de nutrientes para un cultivo con una producción de  $10 \text{ ton ha}^{-1}$  implicaría  $11\text{-}41 \text{ kg ha}^{-1}$ ,  $2\text{-}10 \text{ kg ha}^{-1}$  y  $20\text{-}61 \text{ kg ha}^{-1}$  para el caso de nitrógeno, fósforo y potasio, respectivamente. A esto se le suma lo investigado por Gutierrez *et al.* (1993), donde se demostró que bajo guayacanes silvestres existía 6 veces más nitrógeno y 2 veces más fósforo disponible que fuera de su copa. Por lo tanto, el guayacán, al no ser cosechado, no genera una remoción de nutrientes desde el sistema suelo, además de que debido a su naturaleza aporta cantidades de nitrógeno y fosforo no despreciables bajo su copa Gutierrez *et al.* (1993), razón por la que tendría los registros más altos de estos macronutrientes. Por otro lado, la hipótesis de una lenta tasa de crecimiento también es plausible (Zeng *et al.*, 2008).

Respecto al porcentaje de materia orgánica, GPM, con los valores más altos, no presenta diferencias con PPM, los que a su vez son mayores que PPP. El hecho de que PPM tenga un mayor porcentaje de materia orgánica puede deberse a que además de la materia orgánica aportada por los mismos paltos a través de la caída de sus hojas, también recibe los aportes que de los guayacanes realizan al sustrato. A esto se le añade la naturaleza morfológica de la hoja de guayacán, la cual es pequeña y por tanto se descompone rápidamente, aportando materia orgánica humificada y sus nutrientes al suelo tal como lo describe Gutierrez *et al.* (1993), donde en muestras obtenidas bajo guayacanes en estado silvestre encontraron 3 veces la cantidad de materia orgánica que en muestras obtenidas fuera de su copa.

### Análisis de componentes principales

Se desarrolló un análisis de componentes principales (ACP) con su respectivo biplot, el cual se constituye como una representación gráfica de la matriz de correlaciones (Apéndice XIV) con las asociaciones validadas por sus significancias (Apéndice XV). De los resultados del ACP se concluye que el primer componente explica un 45.13% de la varianza de los datos, mientras que el segundo explica un 25.71% de la varianza, explicando entre ambos componentes un 70.84% (Apéndice XVI). Por otra parte, se investigó el porcentaje de contribución que cada variable poseía en el primer componente principal (Apéndice XVII), encontrando que la variable con mayor contribución correspondió a potasio (12.88%), seguido por poros de agua útil (11.38%), nitrógeno (10,76%) y pH (9.88%), por lo tanto, estas variables químicas se constituyen como aquellas que contribuyen en mayor medida a la generación del componente principal que mejor explica la varianza presente en el set de datos. Las contribuciones para el segundo componente principal (Apéndice XVIII) resultaron en densidad aparente (23.80%), poros de drenaje rápido (22.41%), porosidad total (19.37%) y materia orgánica (13.03%), variables físicas de suelo principalmente.

El biplot generado a partir del ACP se encuentra en la Figura 18, del cual se desprende la alta independencia de las parcelas GPM, ubicadas al lado derecho del gráfico y contrario en el eje respecto a las parcelas de palto, aportando las parcelas con guayacán a la componente principal número 1. Para el caso de PPM y PPP ocurre lo contrario, al analizar su disposición espacial demuestran baja variabilidad en cuanto a su contribución en la generación del componente principal número 1, pero una alta variabilidad en su contribución al momento de generar el componente principal número 2

Las parcelas GPM presentaron una asociación positiva con las propiedades químicas (N, P, K, CE) a excepción del pH con el cual posee una asociación negativa. Por otro lado, se relacionan negativamente con variables físicas de suelo como los poros de agua útil (PAU), la capacidad de campo (CC) y los poros de drenaje lento (PDL). Lo contrario ocurre con las parcelas PPM y PPP, es decir, cada unidad experimental posee condiciones edáficas heterogéneas y una asociación negativa con las propiedades químicas mencionadas anteriormente, con la excepción del pH, cuya asociación es positiva. También, se relacionan de manera positiva con PAU, CC, PDL, por lo tanto, en la teoría PPM y PPP propician mejores condiciones en cuanto a retención de agua en el suelo, pero peores condiciones referidas a macronutrientes en comparación a GPM. Por otro lado, PPM se encuentran más cercanas a las condiciones de GPM que lo que están PPP, por lo que se piensa que sus condiciones de suelo transitan hacia condiciones semejantes a GPM. También, apoyándose con los resultados de la matriz de correlaciones con significancias menores a 0,05 (Apéndice XIX), se puede ver que la densidad aparente se asocia de manera negativa con la materia orgánica ( $r = -0.97$ ) y los poros de drenaje rápido ( $r = -0.92$ ), propiedades que entre sí presentan una asociación positiva ( $r = 0.95$ ). De esto se desprende que la materia orgánica de los suelos podría explicar la densidad aparente presente en el mismo (Chaudari *et al.*, 2013), ya que en GPM y PPM además de encontrar los porcentajes más altos de materia orgánica, también se encontraron los valores mas bajos de densidad aparente. De esta manera, en teoría potenciar la materia orgánica en este sistema productivo disminuiría la densidad aparente y aumentarían los poros de drenaje rápido, lo que traería beneficios considerables en las condiciones edáficas del huerto.



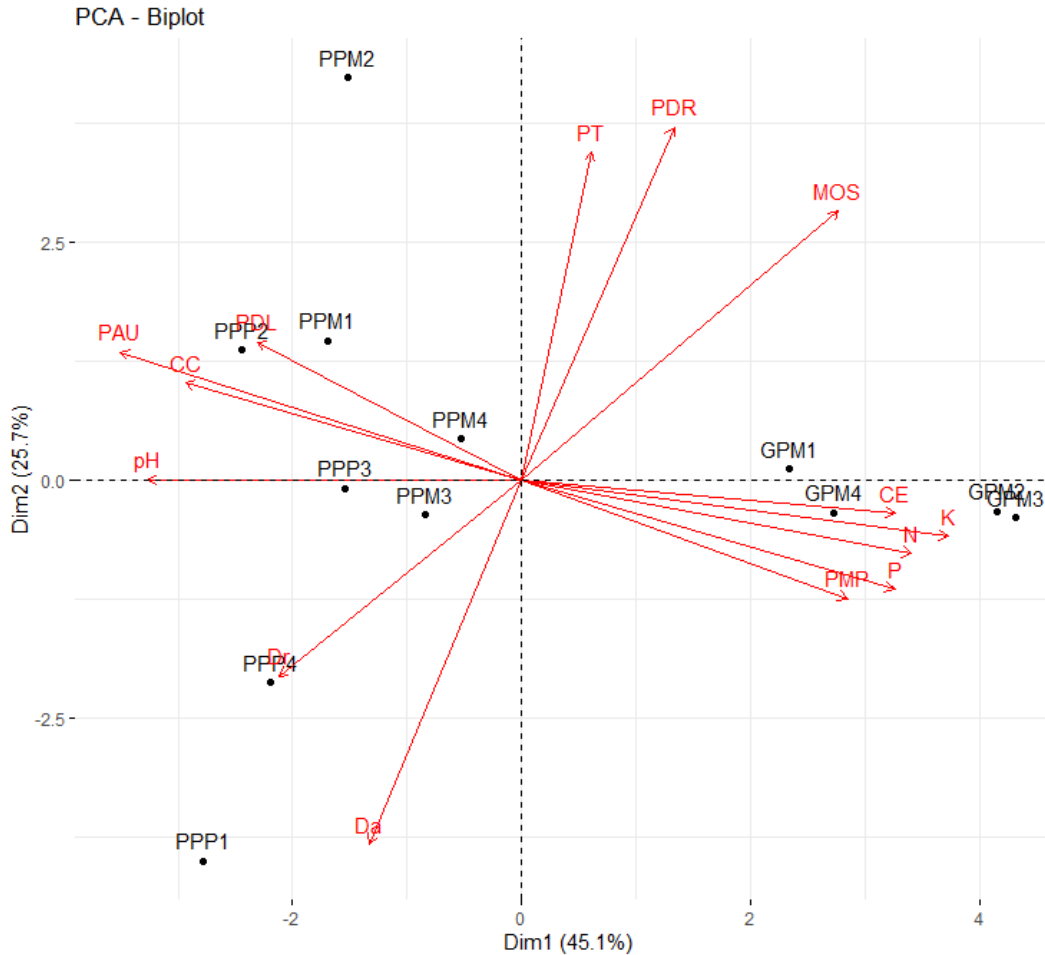


Figura 18. Biplot de propiedades físico químicas de suelo. PDR: poros de drenaje rápido; MOS: porcentaje de materia orgánica; PT: porosidad total; PAU: poros de agua útil; K: potasio; P: fósforo; Dr: densidad real; N: nitrógeno; PMP: punto de marchitez permanente; Da: densidad aparente; CE: conductividad eléctrica; PDL: poros de drenaje lento; PPP: palto parcela pura; PPM: palto parcela mixta; GPM: guayacán parcela mixta.

De esta forma, es interesante ver la posibilidad que abre el generar sistemas mixtos de cultivo. Existe evidencia que este tipo de sistemas productivos mejoran la calidad de las características físicas de suelo (Cherubin *et al.*, 2019), las características químicas (Kho *et al.*, 2001), así como el contenido de materia orgánica (Sileshi *et al.*, 2014). También, existen estudios respecto a los impactos que generan en la hidrología (Ong *et al.*, 2017), que tienen que ver con un aumento de infiltración, reducción de evaporación desde suelo, incluso la posibilidad de ejercer levantamiento hidráulico, aspectos que no fueron abarcados en este estudio, pero que abre nuevos caminos a estudiar.

Los resultados del presente estudio resultan importantes debido a las condiciones donde se desarrollan las plantaciones de palto, donde la oferta de agua es cada vez mas limitada, tanto para consumo humano como para fines productivos. Si bien la presencia del guayacán se relaciona con una baja disponibilidad de agua aprovechable (Cuadro 5), se observó un conjunto de propiedades edáficas positivas asociadas a la presencia de esta especie arbórea, contribuyendo a mejorar las condiciones edáficas del sistema, lo que podría aumentar la sostenibilidad de un cultivo como el palto al tener bases agroecológicas.

## CONCLUSIONES

Bajo las condiciones experimentales en las que se desarrolló este trabajo, se rechaza la hipótesis planteada. Si bien se observó una variabilidad importante en las propiedades físicas y químicas de suelo entre parcelas puras y mixtas, en la evaluación del efecto de *Porlieria chilensis* (Guayacán) sobre el estado hídrico de los paltos, no se observaron efectos. La condición de riego en donde se realizó el estudio, ayuda a explicar la equivalencia entre tratamientos, tanto para potencial hídrico como conductancia estomática.

Sin embargo, la presencia de individuos de *P. chilensis* dentro del huerto de paltos tuvo algunas influencias positivas en propiedades físico-químicas de suelo, con una disminución de la densidad aparente y un incremento en la macro porosidad en los suelos de paltos pertenecientes a parcelas mixtas. Respecto de las propiedades químicas de suelo, se presentó una mayor disponibilidad de nitrógeno, potasio, fósforo y porcentaje de materia orgánica bajo guayacán de parcela mixta. Pero un aumento de la salinidad que genera toxicidad en paltos. En relación a los hallazgos bajo palto parcela mixta, el porcentaje de materia orgánica fue superior a los resultados bajo palto parcela pura, el resto fueron resultados similares. Esta situación denota que la presencia de *P. chilensis* genera condiciones de mejora en propiedades tanto físicas como químicas de suelo dentro del huerto, permitiendo que los paltos circundantes se beneficien de estas condiciones, no obstante, los mecanismos que subyacen a estas observaciones no están determinados.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera-Montañez, J. L. and Salazar-Garcia, S. (1991). The avocado industry in Michoacan, Mexico. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 14, 94–97.
- Altieri, M. A. and Nicholls, C. I. (2000). *9 Basic Textbooks for Environmental Training Agroecology and the Search for a Truly Sustainable Agriculture 1 st edition*. Retrieved from [https://moodle.ufsc.br/pluginfile.php/3077442/mod\\_resource/content/2/Altieri\\_agroecology-engl-PNUMA\\_livro\\_2005.pdf](https://moodle.ufsc.br/pluginfile.php/3077442/mod_resource/content/2/Altieri_agroecology-engl-PNUMA_livro_2005.pdf)<http://www.agroeco.org/doc/agroecology-engl-PNUMA.pdf>
- Altieri, M. A., Nicholls, C. I., Henao, A. and Lana, M. A. (2015). Agroecology and the design of climate change-resilient farming systems. *Agronomy for Sustainable Development*, 35(3), 869–890. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0285-2>
- Arévalo-Gardini, E., Canto, M., Alegre, J., Loli, O., Julca, A. and Baligar, V. (2015). Changes in soil physical and chemical properties in long term improved natural and traditional agroforestry management systems of cacao genotypes in Peruvian Amazon. *PLoS ONE*, 10(7), 1–29. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132147>
- Ayers, R. S. and Westcot, D. W. (1985). Water quality evaluation. In R. Ayer and Westcot, M (Eds.), *Water Quality for Agriculture* (pp. 1-11). Rome, Italy: FAO.
- Barrios, E., Sileshi, G. W., Shepherd, K. and Sinclair, F. (2012). Agroforestry and soil health : Linking trees, soil biota and ecosystem Services *Soil Ecology and Ecosystem Services*, 315–330.
- Beyá-Marshall, V., Kremer, C y Baeza, B. (2020). Determinación del momento oportuno de riego mediante sondas FDR y potencial hídrico en paltos y cítricos: Efectos en la productividad y calidad de la fruta. En V. Beyá-Marshall y Galleguillos, M (Eds.), *Optimización del riego en paltos y cítricos* (pp. 103-120). Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.
- Beyá-Marshall, V., Kremer, C y Baeza, B. (2020). Relaciones hídricas en paltos y cítricos. En V. Beyá-Marshall y Galleguillos, M (Eds.), *Optimización del riego en paltos y cítricos* (pp. 123-134). Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.
- Beyá-Marshall, V., Seguel, O y Baeza, B. (2020). Diagnóstico de las condiciones físicas de suelo y su relación con el potencial productivo de paltos y cítricos en la región de O'higgins. En V. Beyá-Marshall y Galleguillos, M (Eds.), *Optimización del riego en paltos y cítricos* (pp. 12-23). Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile.
- Casanova, M., Ticona, B., Salazar, O., Gratacós, E., Pfeiffer, M., Ávila, G., ... Sabaini, C. (2020). Physical assessment of a Mollisol under agroecological managements at Quillota valley. Mediterranean Central Chile. *International Journal of Agriculture and Natural Resources*, 47(3), 261–279. <https://doi.org/10.7764/ijanr.v47i3.2290>
- Cass, A. (1999). Interpretation of some soil physical indicators for assessing soil physical fertility. En: K. I. Peverill, L. A. Sparrow and D. J., Reuter (eds.). *Soil Analysis – an interpretation manual* (pp.95-102). CSIRO Publishing. Collingwood, Australia.
- Chaudhari, P. R., Ahire, D. V., Ahire, V. D., Chkravarty, M. and Maity, S. (2013). Soil Bulk Density as related to Soil Texture, Organic Matter Content and available total Nutrients of Coimbatore Soil. *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(1), 2250–3153. Retrieved from [www.ijsrp.org](http://www.ijsrp.org)
- Chave, J., Coomes, D., Jansen, S., Lewis, S. L., Swenson, N. G., and Zanne, A. E. (2009). Towards a worldwide wood economics spectrum. *Ecology Letters*, 12(4), 351–366. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2009.01285.x>

- Cherubin, M. R., Chavarro-Bermeo, J. P. and Silva-Olaya, A. M. (2019). Agroforestry systems improve soil physical quality in northwestern Colombian Amazon. *Agroforestry Systems*, 93(5), 1741–1753. <https://doi.org/10.1007/s10457-018-0282-y>
- Centro de Información de Recursos Naturales. (2016). Estudio Agrológico Región de Valparaíso. (199).
- Contador, G. (1998). Caracterización del status hídrico del palto (*Persea americana* Mill.), en función de la humedad disponible en el suelo, en dos tipos de suelo y dos sistemas de riego (Taller de Licenciatura). Universidad Católica de Valparaíso, Quillota, Chile.
- Crowley, D. (2008). Salinity Management in Avocado Orchards. *California Avocado Society Yearbook*, 91, 83–104.
- Dörner, J., Dec, D., Thiers, O., Paulino, L., Zúñiga, F., Valle, S., ... Horn, R. (2016). Spatial and temporal variability of physical properties of Aquands under different land uses in southern Chile. *Soil Use and Management*, 32(3), 411–421. <https://doi.org/10.1111/sum.12286>
- Escenarios hídricos 2030. (2018). *Radiografía del Agua: Brecha y Riesgo Hídrico en Chile*. Recuperado de <http://www.escenarioshidricos.cl/multimedia>.
- Ferreya, R. (2017). Manejo de agua y suelo en aguacate y su influencia sobre la pudrición de raíces. *Memorias Del V Congreso Latinoamericano Del Aguacate*, 266–274.
- Ferreya, E. R. Selles, van Sch; P. Gil M; R. Ruiz Sch; C. Barrera M; P. Maldonado B; I. Celedón A. (2007). Manejo del Riego y Suelo en Palto. La Cruz, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA N° 160. 120 p.
- Ferreya, R. and G. Sellés. (2012). Avocado, In: P. Steduto; T. Hsiao; E. Fereres and D. Raes. (Eds.), *Crop Yield Response to Water* (pp. 442–446). Rome, Italy: FAO Irrigation and Drainage Paper 66.
- Ferreya, R., Maldonado, P., Celedón, J., Gil, P., M., Torres, A., and Selles, G. (2008). Soil air content effects on the water status of avocado trees. *Acta Horticulturae*, 792, 291–296. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2008.792.33>
- Fundación Terram y Miranda, F. (2018). *Erosión de Suelos y Crisis Hídrica : Las sombras del modelo agroexportador del palto*. 78. Retrieved from [www.terram.cl](http://www.terram.cl)
- Gil, P., B. Schaffer, S. Gutiérrez, C. Li. (2007). Efecto del anegamiento en el estatus hídrico e intercambio gaseoso y biomasa del palto (*Persea americana* Mill.). *Proceedings VI World Avocado Congress (Actas VI Congreso Mundial Del Aguacate) 2007*, (978).
- Ginocchio, R., Melo, O., Pliscoff, P., Camus, P., and Arellano, E. C. (2019). *Conflicto entre la intensificación de la agricultura y la conservación de la biodiversidad en Chile: alternativas para la conciliación*. 24.
- Gutiérrez, J. R., Meserve, P. L., Contreas, L. C., Vásquez, H., and Jaksic, F. M. (1993). Spatial distribution of soil nutrients and ephemeral plants underneath and outside the canopy of *Porlieria chilensis* shrubs (Zygophyllaceae) in arid coastal Chile. *Oecologia*, 95(3), 347–352. <https://doi.org/10.1007/BF00320987>
- Hamilton, G., Bakker, D., Houlebrook, D., and Spann, C. (2000). Western Australia , Series 4 Raised beds prevent waterlogging and increase productivity. *Journal of Agriculture*, 41(1 (2)). Retrieved from [https://researchlibrary.agric.wa.gov.au/journal\\_agriculture4/vol41/iss1/2](https://researchlibrary.agric.wa.gov.au/journal_agriculture4/vol41/iss1/2)
- Hazelton, P., and Murphy, B. (2016). Interpreting soils test results, what do all the numbers mean? Third edition. CSIRO Publishing. Australia.
- He, J., Mchugh, A. D., Li, H. W., Wang, Q. J., Li, W. Y., Rasaily, R. G., and Li, H. (2012). Permanent raised beds improved soil structure and yield of spring wheat in arid north-western China. *Soil Use and Management*, 28(4), 536–543. <https://doi.org/10.1111/j.1475-2743.2012.00445.x>
- Jones, H. G., Lakso, A. N., and Syvertsen, J. P. (1984). Physiological Control of Water Status in Temperate and Subtropical Fruit Trees. In *Horticultural Reviews*. <https://doi.org/10.1002/9781118060735.ch7>

- Kho, R. M., Yacouba, B., Yayé, M., Katkoré, B., Moussa, A., Iktam, A., and Mayaki, A. (2001). Separating the effects of trees on crops: The case of *Faidherbia albida* and millet in Niger. *Agroforestry Systems*, 52(3), 219–238. <https://doi.org/10.1023/A:1011820412140>
- Lal, R. (1994). *Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics*. Soil Management Support System, USDA-NRCS, Washington, DC. USA.
- Landon, J.R. (1984). *Booker Tropical Soil Manual. A handbook for soil survey and agricultural land evaluation in the tropics and subtropics*. Routledge, Taylor & Francis Group. NY, USA.
- Larjavaara, M., and Muller-Landau, H. C. (2010). Rethinking the value of high wood density. *Functional Ecology*, 24(4), 701–705. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2010.01698.x>
- Leung, J., and Giraudat, J. (1998). Abscisic acid signal transduction. *Annual Review of Plant Biology*, 49, 199–222. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.49.1.199>
- Luo, T., Young, R., and Reig., P. (2015). *Aqueduct Projected Water Stress Country Rankings. Technical Note. Washington, D.C.: World Resources Institute*. (August), 1–16.
- Martinez, J., V. Muenya y Ruiz, R. (2014). Nutrición Y Fertilidad En Paltos (283). *Instituto De Investigaciones Agropecuarias*, 1–78.
- MMA. s.f. Inventario nacional de especies de Chile. Ministerio del Medio Ambiente gobierno de Chile, Santiago, Chile. Recuperado de [http://especies.mma.gob.cl/CNMWeb/Web/WebCiudadana/ficha\\_indepen.aspx?EspecieId=262&Version=1](http://especies.mma.gob.cl/CNMWeb/Web/WebCiudadana/ficha_indepen.aspx?EspecieId=262&Version=1)
- Muñoz, A. A., Klock-Barría, K., Alvarez-Garreton, C., Aguilera-Betti, I., González-Reyes, Á., Lastra, J., Chávez, R., Barría, P., Christie, D., Rojas-Badilla, M., Lequesne, C.(2020). Water crisis in petorca basin, Chile: The combined effects of a mega-drought and water management. *Water (Switzerland)*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/w12030648>
- Muñoz, M. R., Squeo, F. A., León, M. F., Tracol, Y., and Gutiérrez, J. R. (2008). Hydraulic lift in three shrub species from the Chilean coastal desert. *Journal of Arid Environments*, 72(5), 624–632. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2007.09.006>
- Nair, P. K. R., Gordon, A. M., and Rosa Mosquera-Losada, M. (2008). Agroforestry. *Encyclopedia of Ecology, Five-Volume Set*, (1990), 101–110. <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00038-0>
- Nájera, F. 2006. Caracterización de suelos alcalinos cultivados con paltos (*Persea Americana* Mill) en la V región de Chile y aplicación de ácido sulfúrico como corrector de pH. (Tesis de pregrado). Universidad de Chile, Facultad de ciencias Agronómicas, Escuela de Agronomía. Santiago, Chile.
- Nwosu, N.J., and Okon, P.B. (2020). Impacts of Some Climatic Factors on Soil Quality of Tropical Acid-Sand Soils. In: W. Leal Filho (Ed.) *Handbook of Climate Change Resilience*. Springer Nature, Switzerland. pp: 295–317. doi: 10.1007/978-3-319-93336-8\_72
- ODEPA. 2016. Coyuntura Internacional I, Mejores políticas para un sistema agroalimentario productivo, sostenible y resiliente según países OCDE. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) Santiago, Chile. Recuperado de [https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/coyuntura1\\_OCDE.pdf](https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2017/12/coyuntura1_OCDE.pdf).
- Ong, C., Black, C. R., Wilson, J., Muthuri, C., Bayala, J., and Jackson, N. A. (2017). Agroforestry: Hydrological Impacts. In *Reference Module in Food Science*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.22383-4>
- Patil, N. G., and Singh, S. K. (2016). Pedotransfer Functions for Estimating Soil Hydraulic Properties: A Review. *Pedosphere*, 26(4), 417–430. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(15\)60054-6](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(15)60054-6)
- Pauli, N., Oberthür, T., Barrios, E., and Conacher, A. J. (2010). Fine-scale spatial and temporal variation in earthworm surface casting activity in agroforestry fields, western Honduras. *Pedobiologia*, 53(2), 127–139. <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2009.08.001>

- Poorter, H., Niinemets, Ü., Poorter, L., Wright, I. J., and Villar, R. (2009). Causes and consequences of variation in leaf mass per area (LMA): A meta-analysis. *New Phytologist*, 182(3), 565–588. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2009.02830.x>
- Rebola-Lichtenberg, J., Streit, J., Schall, P., Ammer, C., and Seidel, D. (2021). From facilitation to competition: the effect of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) on the growth performance of four poplar-hybrids (*Populus* spp.) in mixed short rotation coppice. *New Forests*, 52(4), 639–656. <https://doi.org/10.1007/s11056-020-09813-2>
- Reich, P. B. (2014). The world-wide “fast-slow” plant economics spectrum: A traits manifesto. *Journal of Ecology*, 102(2), 275–301. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12211>
- Richards, J. H., and Caldwell, M. M. (1987). Hydraulic lift: Substantial nocturnal water transport between soil layers by *Artemisia tridentata* roots. *Oecologia*, 73(4), 486–489. <https://doi.org/10.1007/BF00379405>
- Rosecrance, R., Faber, B., and Lovatt, C. (2012). Patterns of Nutrient Accumulation in ‘Hass’ Avocado Fruit. *Better Crops*, 96(1), 12–13. Retrieved from <http://info.ipni.net/BCADDENDA>.
- Sadzawka R, A., Carrasco R, M. A., Grez Z, R., Mora G, M. de la luz, Flores P, H., y Neaman, A. (2006). *Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. Ministerio de Agricultura, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)*. p. 150.
- Sandoval, M.; J. Dörner; O. Seguel; J. Cuevas y D. Rivera. 2012. Métodos de análisis físicos de suelos. Universidad de Concepción. Publicaciones Departamento de Suelos y Recursos Naturales, Chillán, Chile, N° 5. 80p.
- Santibáñez, F., Santibáñez, P., Caroca, C., González, P., Perry, P., Gajardo, N.,... Muñoz, C. 2017. Atlas Agroclimático Tomo III: Regiones de Valparaíso, Metropolitana, O’Higgins y Maule. Centro AGRIMED. Santiago, Chile
- Scholander, P. F., Hammel, H. T., Bradstreet, E. D., and Hemmingsen, E. A. (1965). Sap pressure in vascular plants. *Science*, 148(3668), 339–346. <https://doi.org/10.1126/science.148.3668.339>
- Seguel S., O., García de Cortázar G. de C., V., y Casanova P., M. (2003). Variación En El Tiempo De Las Propiedades Físicas De Un Suelo Con Adición De Enmiendas Orgánicas. *Agricultura Técnica*, 63(3). <https://doi.org/10.4067/s0365-28072003000300008>
- Shields, L. M. (1950). Leaf xeromorphy as related to physiological and structural influences. *The Botanical Review*, 16(8), 399–447. <https://doi.org/10.1007/BF02869988>
- Sileshi, G., and Mafongoya, P. L. (2006). Long-term effects of improved legume fallows on soil invertebrate macrofauna and maize yield in eastern Zambia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 115(1–4), 69–78. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.12.010>
- Sileshi, G. W., Mafongoya, P. L., Akinnifesi, F. K., Phiri, E., Chirwa, P., Beedy, T., ... Jiri, O. (2014). Agroforestry: Fertilizer Trees. *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems*, 1, 222–234. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00022-X>
- Sterne, R. E., Kaufmann, M. R., and Zentmyer, G. A. (1977). Environmental Effects on Transpiration and Leaf Water Potential in Avocado. *Physiologia Plantarum*, 41(1), 1–6. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1977.tb01512.x>
- Taiz, L., and Zeiger, (2010). Abscisic Acid: A Seed Maturation and Antiestress Signal. *Physiology Plants*. En L. Taiz & E. Zeiger (Eds.), *Plants Physiology*, 539–558. Massachusetts, USA: Sinauer Associates
- Wright, I. J., Reich, P. B., Westoby, M., Ackerly, D. D., Baruch, Z., Bongers, F., ... Villar, R. (2004). The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, 428(6985), 821–827. <https://doi.org/10.1038/nature02403>
- Zeng, X., Zeng, X., and Barlage, M. (2008). Growing temperate shrubs over arid and semiarid regions in the Community Land Model-Dynamic Global Vegetation Model. *Global Biogeochemical Cycles*, 22(3), 1–14. <https://doi.org/10.1029/2007GB003014>



## ANEXOS

Anexo 1. Relative weighting factors (RWF) based on threshold values of soil physical indicators by using the cumulative rating (CR) approach; adapted from Landon (1984), Lal (1994), Cass (1999), Hazelton and Murphy (2016), Nwosu and Okon (2020)

Limitation	RWF	AC	S	cyBd	e	RFC	SOC	StI	FDP	UWP	Ks5
		cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup>	Mg m <sup>-3</sup>	-	-	%	%	cm h <sup>-1</sup>		
None	1	> 0.20	>0.50	< 1.25	>1.2	≥0.60 to ≤0.70	>5	> 9	> 20	<15	< 2
Slight	2	>0.18 to ≤0.20	>0.45 to ≤0.50	≥1.25 to <1.35	>1.0 to ≤1.2	>0.50 to ≤0.60 ≥0.70 to <0.75	>3 to ≤5	>7 to ≤9	>18 to ≤20	≥15 to <18	≥2 to <6
Moderate	3	>0.15 to ≤0.18	>0.40 to ≤0.45	≥1.35 to <1.55	>0.8 to ≤1.0	>0.40 to ≤0.50 ≥0.75 to <0.80	>1 to ≤3	>6 to ≤7	>15 to ≤18	≥18 to <20	≥6 to <8
Severe	4	>0.10 to ≤0.15	>0.35 to ≤0.40	≥1.45 to <1.55	>0.6 to ≤0.8	>0.35 to ≤0.40 ≥0.80 to <0.90	>0.5 to ≤1	>5 to ≤6	>10 to ≤15	≥20 to <25	≥8 to <12.5
Extreme	5	≤ 0.10	≤ 0.35	≥ 1.55	≤ 0.6	≤ 0.35 to ≥ 0.90	≤ 0.5	≤ 5	≤ 10	≥ 25	≥ 12.5

AC, air capacity; S, total porosity; cyBd, bulk density determined from cylinders; e, void ratio; RFC, relative field capacity to water saturation; SOC, soil organic carbon; FDP, fast-drainage pores; UWP, unavailable water pores; and Ks5, hydraulic conductivity at 5 h.

Anexo 2. Sustainability of a land use in relation to the cumulative rating index (C\$, 10 indicators), according Lal (1994).

Cumulative rating index	Sustainability
<20	Highly sustainable (HSU)
≥ 20—<25	Sustainable (SUS)
≥ 25—<30	Sustainable with high inputs (SHI)
≥ 30—<40	Sustainable with another land use (SAU)
≥ 40	Unsustainable (USU)



## APÉNDICES

Apéndice I. Resultado de pruebas de normalidad, homocedasticidad del análisis paramétrico de variables ecofisiológicas.

VARIABLE	Shapiro P value	Bartlett P value	CONCLUSIÓN	P value PARCELA	P value EXPOSICIÓN	P value PARCELA:EXPOSICIÓN
Área sección transversal de tronco	0.2356	0.5584	Normal y homocedastico	0.258	-	-
Potencial hídrico antes de riego	0.3772	0.06772	Normal y homocedastico	0.17326	0.00134**	0.72866
Potencial hídrico después de riego	0.1597	0.1467	Normal y homocedastico	0.07826	0.007719**	0.90716

Apéndice II. Resultado de pruebas de normalidad, homocedasticidad de análisis no paramétrico de variables ecofisiológicas.

VARIABLE	Shapiro P value	Bartlett P value	CONCLUSIÓN	P value	P value parcela	P value exposición
Densidad de peciolo	0.001394	0.1587	Homocedastico	0.7843	0.384	0.9612
Área foliar específica	0.000132	0.6522	Homocedastico	0.613	0.1916	0.7802
Conductancia estomática después de riego	0.0003919	0.3059	Homocedastico	0.006269	-	-
Conductancia estomática antes de riego	0.001716	0.1704	Homocedastico	0.03357	.	-

Apéndice III. Resultado de comparación múltiple entre valores observados de potencial hídrico antes y después de aplicar riego.

Contexto	Exposición	P.HID
Antes de riego	E	-7.90 A
	O	-8.65 B
Después de riego	E	-7.84 A
	O	-8.93 B

Apéndice IV. Resultado de prueba Mann-Whitney-wilcox para Conductancia estomática antes de riego.

	PME	PMO	PPE
PMO	0.436	-	-
PPE	0.565	0.046	-
PPO	0.825	0.825	0.146

Apéndice V. Resultado de prueba Mann-Whitney-wilcox para Conductancia estomática después de riego.

	PME	PMO	PPE
PMO	0.219	-	-
PPE	0.344	0.014	-
PPO	0.344	0.645	0.045

Apéndice VI. Resultado de prueba comparación múltiple entre de conductancia estomática antes y después de la aplicación de riego. C.E(AR): conductancia estomática antes de aplicación de riego; C.E(DR): conductancia estomática después de aplicación de riego; PP: parcela pura; PM: parcela mixta; E: este; O: oeste. Letras distintas significan diferencias estadísticamente significativas.

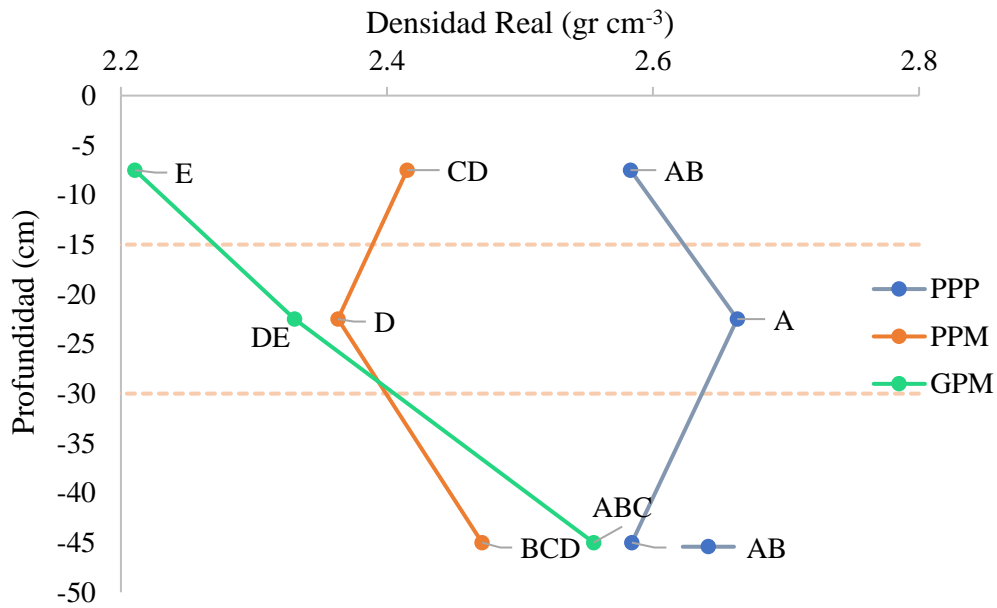
Parcela	Exposición	C.E(AR)	C.E(DR)
PP	E	138.7 A	219.4 B
	O	211.2 BC	316.4 D
PM	E	160.4 AB	258.7 CD
	O	270.6 C	334.0 D

Apéndice VII. Resultado de pruebas de normalidad, homocedasticidad y ANDEVA para variables físicas.

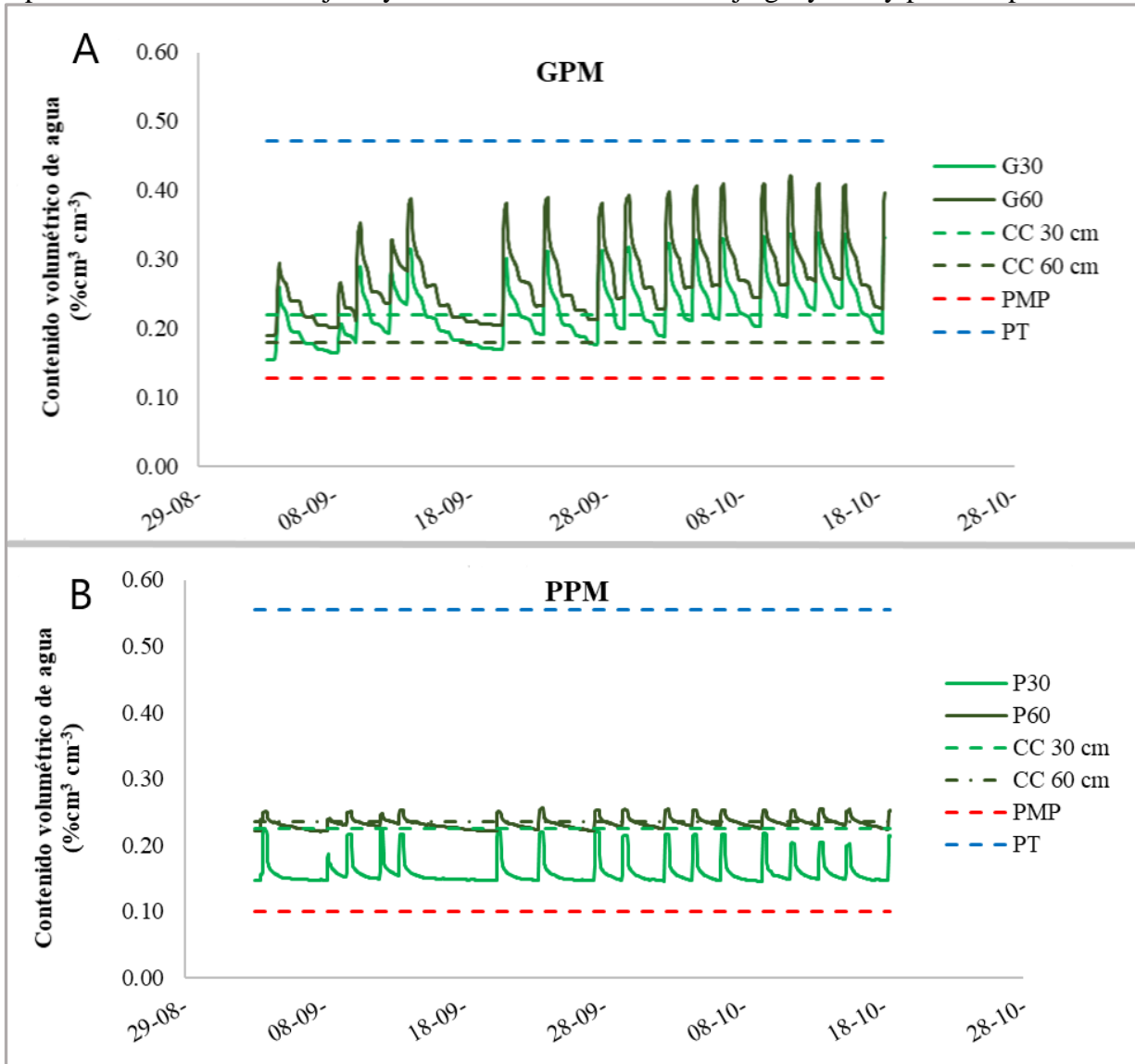
VARIABLE	Shapiro P value	Bartlett P value	CONCLUSIÓN	P value PARCELA	P value PROFUNDIDAD	P value PARCELA:PROFUNDIDAD
Da	0.4632	0.6351	Normal y homocedástica	0.0141 *	0.0430 *	0.2385
Dr	0.08708	0.08058	Normal y homocedástica	4.69e-06 ***	0.00981 **	0.00733 **
PT	0.5072	0.9774	Normal y homocedástica	0.56	0.4	0.149
CC	0.2512	0.1984	Normal y homocedástica	0.0449 *	0.478	0.0727 .
PMP	0.7717	0.5979	Normal y homocedástica	0.000818 ***	0.225794	0.017193 *
PDR	0.5699	0.4534	Normal y homocedástica	0.00658 **	0.15448	0.11956
PDL(log2)	0.14	0.163	Normal y homocedástica	0.0978.	0.9516	0.1893
AU	0.2482	0.392	Normal y homocedástica	0.000449 ***	0.719489	0.496352
% ARENA	0.1037	0.08442	Normal y homocedástica	0.404	0.224	0.99
%ARCILLA	0.1747	0.7734	Normal y homocedástica	0.39324	0.00874 **	0.70639
%LIMO	0.939	0.3049	Normal y homocedástica	0.523	0.588	0.968

Da: densidad aparente; Dr: densidad real; PT: porosidad total; CC: capacidad de campo (retención de agua a 330 kPa); PMP: punto de marchitez permanente (retención de agua a 1500 kPa); PDR: poros de drenaje rápido (retención de agua entre 2 y 60 kPa); PDL: poros de drenaje lento (retención de agua entre 60 y 330 kPa); AU: poros de agua útil (CC-PMP).

Apéndice VIII. Promedio de densidad real en horizontes de 0-15, 16-30 y 31-60 cm de profundidad en sitio de palto de parcela pura (PPP), palto de parcela mixta (PPM) y bajo guayacán (GPM). Letras diferentes denotan diferencias estadísticas significativas.

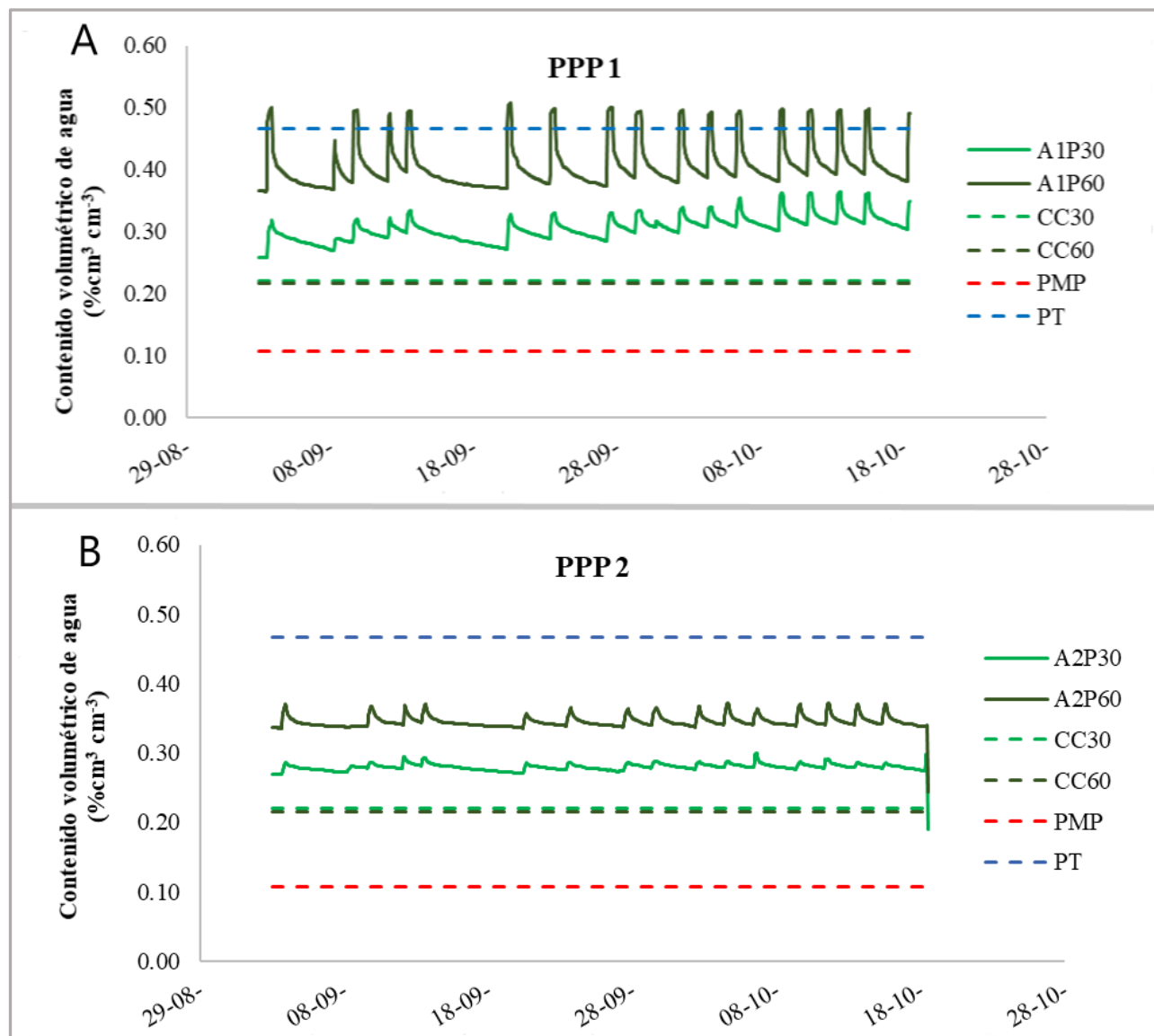


## Apéndice IX. Curva de mojado y secado de suelos medido bajo guayacán y palto en parcela mixta.



Contenido volumétrico de agua medido bajo guayacán (A) y palto (B) de parcela mixta. G30: sensor instalado a 30cm de profundidad; G60: sensor instalado a 60cm de profundidad; P30: sensor instalado a 30cm de profundidad; P60: sensor instalado a 60cm de profundidad; CC30: capacidad de campo medida a 30 cm de profundidad; CC60: capacidad de campo medida a 60cm de profundidad; PMP: punto de marchitez permanente; PT: porosidad total.

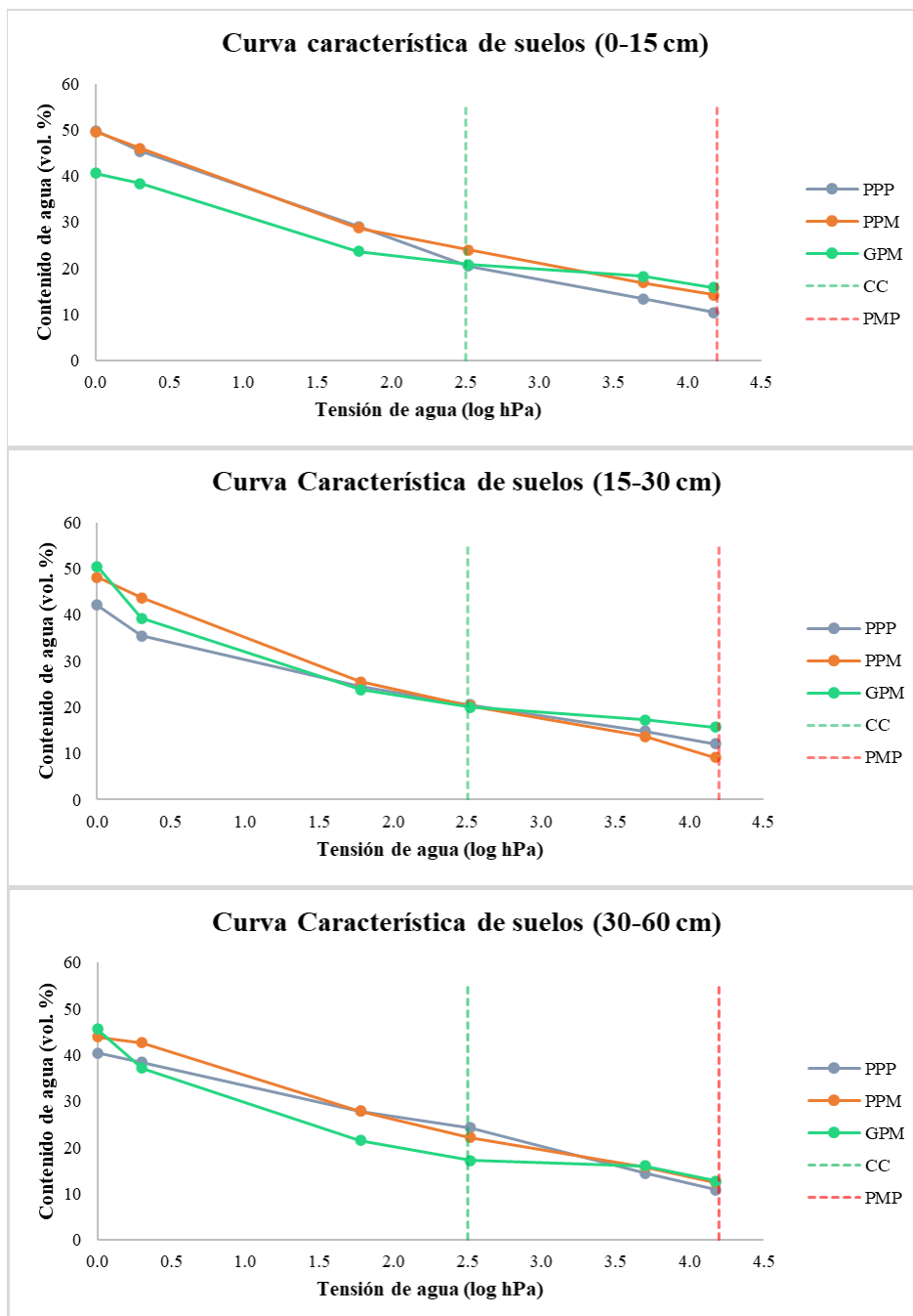
Apéndice X. Curva de mojado y secado de suelos medido bajo palto en parcela pura.



Contenido volumétrico de agua medido bajo palto 1 (A) y 2 (B) de parcela pura. A1P30: medición de sensor instalado bajo palto 1 a 30cm de profundidad; A1P60: medición de sensor instalado bajo palto 1 a 60cm de profundidad; A2P30: medición

de sensor instalado bajo palto 2 a 30cm de profundidad; A2P60: medición de sensor instalado bajo palto 2 a 60cm de profundidad CC30: capacidad de campo medida a 30 cm de profundidad; CC60: capacidad de campo medida a 60cm de profundidad; PMP: punto de marchitez permanente; PT: porosidad total.

Apéndice XI. Curvas características de suelo en horizontes de 0-15, 15-30 y 30-60 cm, para GPM, PPM y PPP.



Apéndice XII. Descripción de calicatas.

PP3

Posee Orujo de uva y hojarasca en descomposición.

0-4 Raíces finas abundantes

0-16 Raíces finas escasas, bloques subangulares de granos finos, poros finos

16-28 Poros finos abundantes, bloques subangulares, raíces medias y gruesas

28-60 Raíces gruesas escasas, bloques subangulares finos a medios, grava fina y media escasa.

PP4

0-3 Con hojarasca en descomposición

3-18 Bloques subangulares finos, poros finos, gravas gruesas y pequeñas finas, raíces finas y medias abundantes.

18-31 Gravas finas y gruesas, bloques subangulares finos, raíces gruesas y finas

31-58 Gravas finas, raíces gruesas y finas escasas.

PP1

0-3 Orujo de uva, hojarasca en descomposición escasa

3-17 bloques subangulares finos, gravas medias y finas, poros finos, raíces finas escasas

17-38 Bloques subangulares finos y gruesos, gravas medias y finas, raíces gruesas abundantes y finas escasas

38-60 bloques subangulares finos y moderados con gravas finas y medias (60%), raíces finas y medias escasas.

PP2

0-2 Orujo de uva, hojarasca en descomposición

2-14 Bloques subangulares finos, poros finos, raíces finas y medias abundantes

15-25 Bloques subangulares finos, raíces finas y gruesas abundantes, gravas gruesas y medias

25-47 Bloques subangulares finos, raíces gruesas y finas abundantes, gravas gruesas y medianas (60%)

47-63 Gravas medias, raíces medias y gruesas escasas.

GPM1 guayacán sin riego, no hay camellón

0-4 (O) hojarasca pura del guayacán con actividad de hongos

4-16 (A1) bloques subangulares finos, raíces finas comunes

16-35 (A2oB1) abundantes raíces de todos los tamaños

35-60 Muy abundantes gravas y guijarros, raíces finas comunes, bloques subangulares finos moderadas

PM1

0-6 (O) abundantes hojarasca, raíces muy finas superficiales

6-18 (A1) Raíces abundantes finas y medianas. Agregados subangulares y rocas de tamaño pequeño

18-30 (A2) Raíces gruesas y finas. Agregados subangulares, color mas oscuro

30-60 Agregados angulares, raíces finas escasas y gruesas escasas.

GPM2 fuera de camellón

0-9 (O) Acumulación de hojarasca con abundantes presencia de hojas y rocas de tamaño pequeño, alta actividad de hongos y un límite claro

9-18 (A1) bloques subangulares finos y medios, raíces finas y poros abundantes



18-39 Clastos de tamaño gravas, raíces finas y medias abundantes, clastos gruesos

#### PM2

0-6 hojarasca, raíces finas y delgadas

6-20 clastos gruesos raíces finas y medias

20-46 raíces abundantes, raíces gruesas y finas

46-60 clastos gruesos

GPM3 guayacán en camellón con riego

0-7 (O) Hojarasca con 5 niveles de descomposición y alta actividad de hongos, en un límite lineal claro con el horizonte mineral

7-19 (A1) abundante actividad de hongos y micelios, bloques subangulares finos y medios fuertes, con raíces finas comunes, poros finos abundantes, grava media y gruesa comunes, límite lineal claro.

19-37 (A2) bloques subangulares finos moderados con raíces finas y medias abundantes, gruesas comunes, poros finos gruesos abundantes, clastos de tamaño grava a jarro comunes a abundantes.

Límite lineal claro

37-60 Bloques subangulares finos y débiles (40%) y suelto (60%). Gravas y guijarros abundantes, raíces medias y gruesas comunes.

#### PM3

Camellón de 60 cm de altura con abundante hojarasca en descomposición que cae a la entrehilera. Evidencia de orujo de uva. Los horizontes minerales van

0-13 (A) Bloques subangulares finos y medios moderados con raíces finas escasas con síntomas de hipoxia. Gravas medias y gruesas común. Límite lineal claro, poros finos y abundantes

13-32 Bloques subangulares medios débiles con grava medio abundante (40%) raíces finas escasas y gruesas escasas. Límite lineal claro

32-60 Bloques subangulares finos a moderados con gravas finas y media abundante (50%) y raíces medias muy escasas.

#### PM4

1-4 Presencia de abundante hojarasca, hongos y raíces finas pequeñas

4-19 Bloques subangulares finos, poros finos

19-34 bloques subangulares finos y gruesos

GPM4 guayacán fuera de camellón



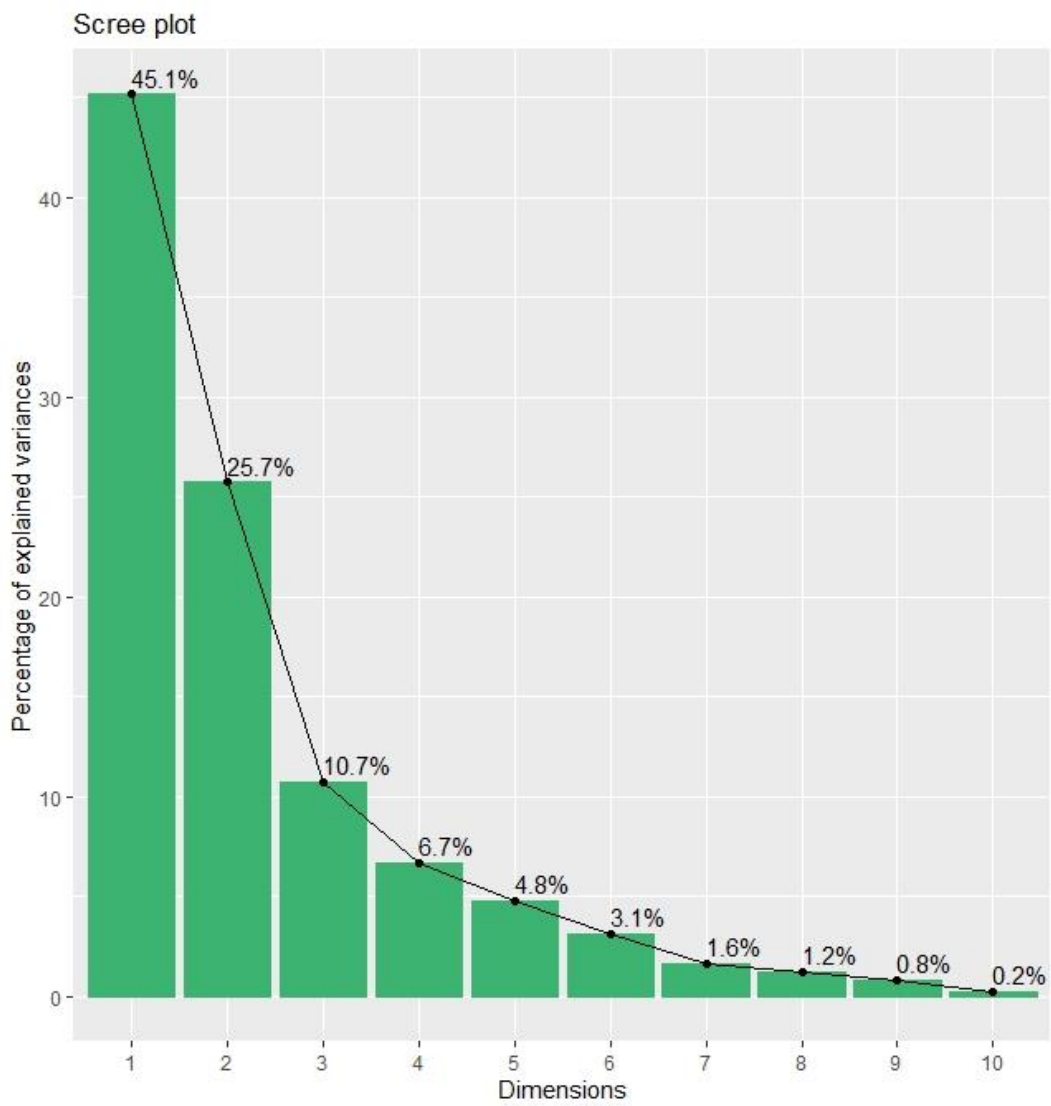
PT: porosidad total; PDR: poros de drenaje rápido; MOS: porcentaje de materia orgánica; PHD: potencial hídrico después de riego; AFE: área foliar específica; PHA: potencial hídrico antes de riego; CC: capacidad de campo (retención de agua a -33kPa); AU: poros de agua útil; CE: conductividad eléctrica; PDL: poros de drenaje lento (retención de agua entre -60 y -33 kPa); CED: conductancia estomática después de riego; Da: densidad aparente; N: nitrógeno; Dr: densidad real; P: fósforo; K: potasio; PMP: Punto de marchitez permanente (retención de agua a -1500kPa); CEA: conductancia estomática antes de riego.

#### Apéndice XV. Matriz de correlación con valores de r sobre la diagonal y significancias bajo la diagonal.

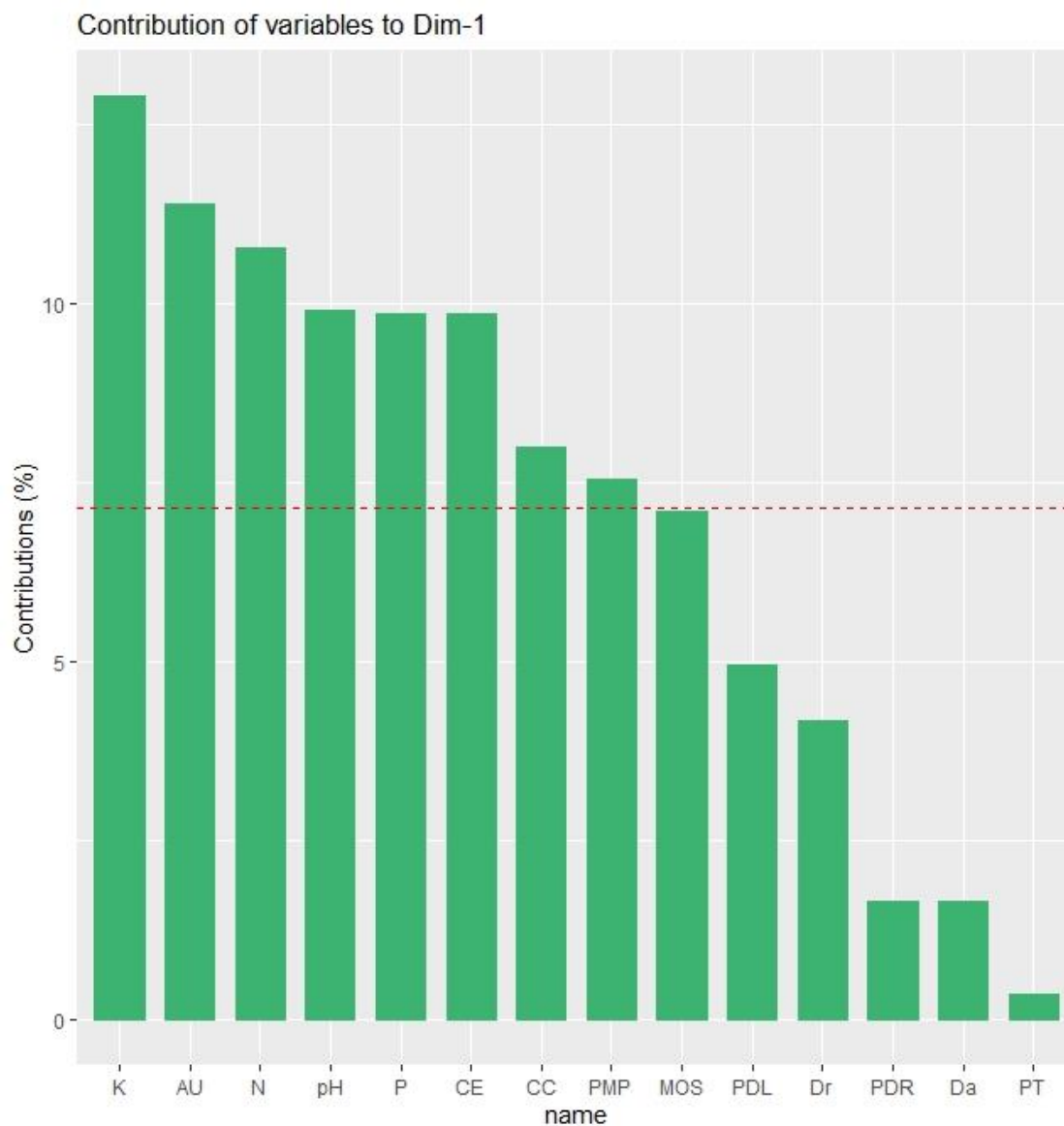
	Da	Dr	PT	CC	PMP	PDR	PDL	PAU	PHD	PHA	CED	CEA	pH	CE	N	P	K	MOS	AFE
Da	1	0.63	<b>-0.89</b>	-0.2	0.38	<b>-0.97</b>	-0.34	-0.42	-0.22	0	0.19	0.05	0.2	0.05	0.58	0.42	0.12	<b>-0.92</b>	0.17
Dr	0.1	1	-0.2	0.07	-0.18	-0.75	-0.38	0.18	-0.1	0.2	-0.12	-0.32	-0.08	-0.32	0.61	<b>0.83</b>	0.32	-0.67	0
PT	<b>0</b>	0.63	1	0.2	-0.61	<b>0.77</b>	0.17	0.57	0.24	0.07	-0.32	-0.3	-0.32	-0.2	-0.4	-0.07	0.02	<b>0.73</b>	-0.22
CC	0.63	0.86	0.63	1	0.24	0.15	0.21	<b>0.81</b>	0.12	0.66	-0.1	0.27	0.27	-0.69	0.25	0.39	0.34	0.35	0.38
PMP	0.35	0.67	0.11	0.57	1	-0.29	-0.22	-0.38	-0.06	0	0.19	0.6	0.31	-0.24	0.24	-0.05	0.45	-0.17	0.54
PDR	<b>0</b>	0.03	<b>0.02</b>	0.73	0.49	1	0.45	0.31	0.09	-0.06	-0.08	0.14	-0.24	0.04	-0.6	-0.57	-0.19	<b>0.95</b>	-0.27
PDL	0.41	0.36	0.69	0.62	0.6	0.26	1	0.33	-0.04	0.29	0.66	0.34	0.12	0.38	0.18	-0.37	-0.66	0.58	-0.41
PAU	0.29	0.67	0.14	<b>0.01</b>	0.36	0.45	0.42	1	0.15	0.63	-0.21	-0.1	0.07	-0.51	0.09	0.4	0.06	0.43	0.04
PHD	0.6	0.82	0.57	0.77	0.89	0.83	0.93	0.72	1	0.52	-0.15	-0.63	<b>0.76</b>	-0.05	-0.08	-0.14	-0.28	0.05	0.66
PHA	1	0.63	0.88	0.08	1	0.89	0.49	0.1	0.19	1	-0.12	-0.11	0.58	-0.51	0.2	0.1	-0.21	0.07	0.34
CED	0.65	0.78	0.43	0.81	0.65	0.85	0.08	0.61	0.72	0.78	1	0.41	0.17	0.61	0.64	-0.12	-0.36	0.09	-0.2
CEA	0.91	0.44	0.47	0.51	0.12	0.74	0.4	0.81	0.09	0.79	0.31	1	-0.28	-0.12	0.18	-0.21	0.23	0.31	-0.25
pH	0.63	0.84	0.44	0.51	0.45	0.57	0.78	0.86	<b>0.03</b>	0.13	0.69	0.51	1	0.06	0.21	-0.05	-0.33	-0.19	<b>0.77</b>
CE	0.91	0.44	0.64	0.06	0.56	0.92	0.36	0.2	0.91	0.19	0.11	0.77	0.88	1	0.02	-0.39	-0.65	-0.05	-0.3
N	0.14	0.11	0.33	0.55	0.56	0.12	0.67	0.83	0.84	0.63	0.09	0.67	0.61	0.97	1	0.6	0.14	-0.35	0.1
P	0.31	<b>0.01</b>	0.87	0.34	0.91	0.14	0.36	0.32	0.74	0.81	0.78	0.62	0.91	0.34	0.12	1	0.57	-0.45	0.22
K	0.78	0.45	0.97	0.41	0.27	0.65	0.07	0.89	0.51	0.62	0.38	0.58	0.42	0.08	0.74	0.14	1	-0.12	0.3
MOS	<b>0</b>	0.07	<b>0.04</b>	0.4	0.69	<b>0</b>	0.13	0.28	0.9	0.86	0.83	0.46	0.65	0.9	0.39	0.26	0.77	1	-0.24
AFE	0.7	0.99	0.6	0.35	0.17	0.52	0.32	0.92	0.08	0.42	0.64	0.55	<b>0.02</b>	0.47	0.81	0.6	0.48	0.57	1

Da: densidad aparente; Dr: densidad real; PT: porosidad total; CC: capacidad de campo (retención de agua a -33 kPa); PMP: punto de marchitez permanente (retención de agua a -1500 kPa); PDR: poros de drenaje rápido (retención de agua entre -0,2 y -6 kPa); PDL: poros de drenaje lento (retención de agua entre -6 y -33 kPa); PAU: poros de agua útil (CC-PMP); PHD: potencial hídrico después de riego; PHA: potencial hídrico antes de riego; CED: conductancia estomática después de riego; CEA: conductancia estomática antes de riego; CE: conductividad eléctrica; N: nitrógeno; P: fósforo; K: potasio; MOS: porcentaje de materia orgánica; AFE: área foliar específica.

Apéndice XVI. Gráfico del porcentaje de explicación de varianza que cada componente principal posee.

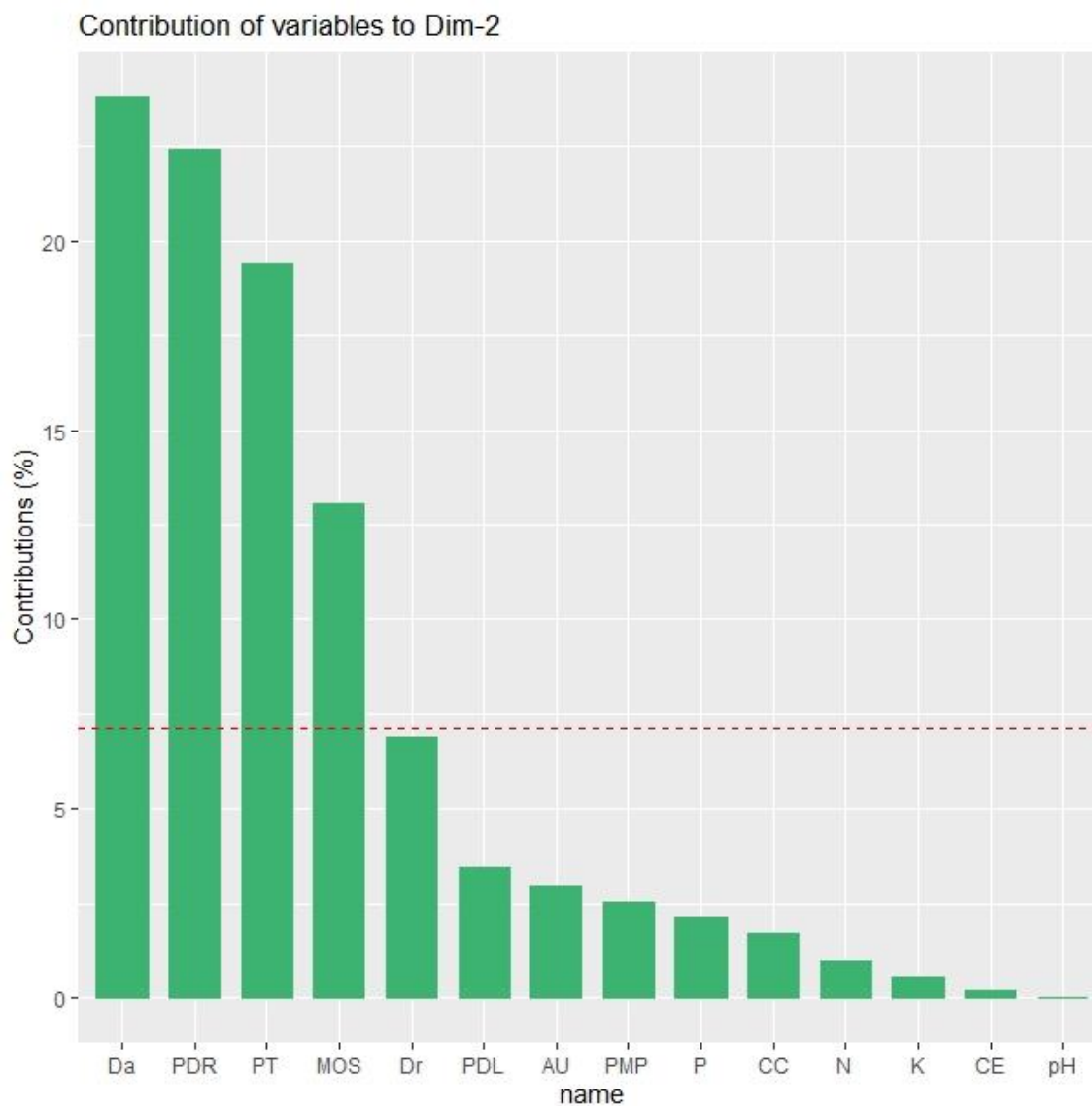


Apéndice XVII. Gráfico de contribución de las variables analizadas al componente principal número 1.



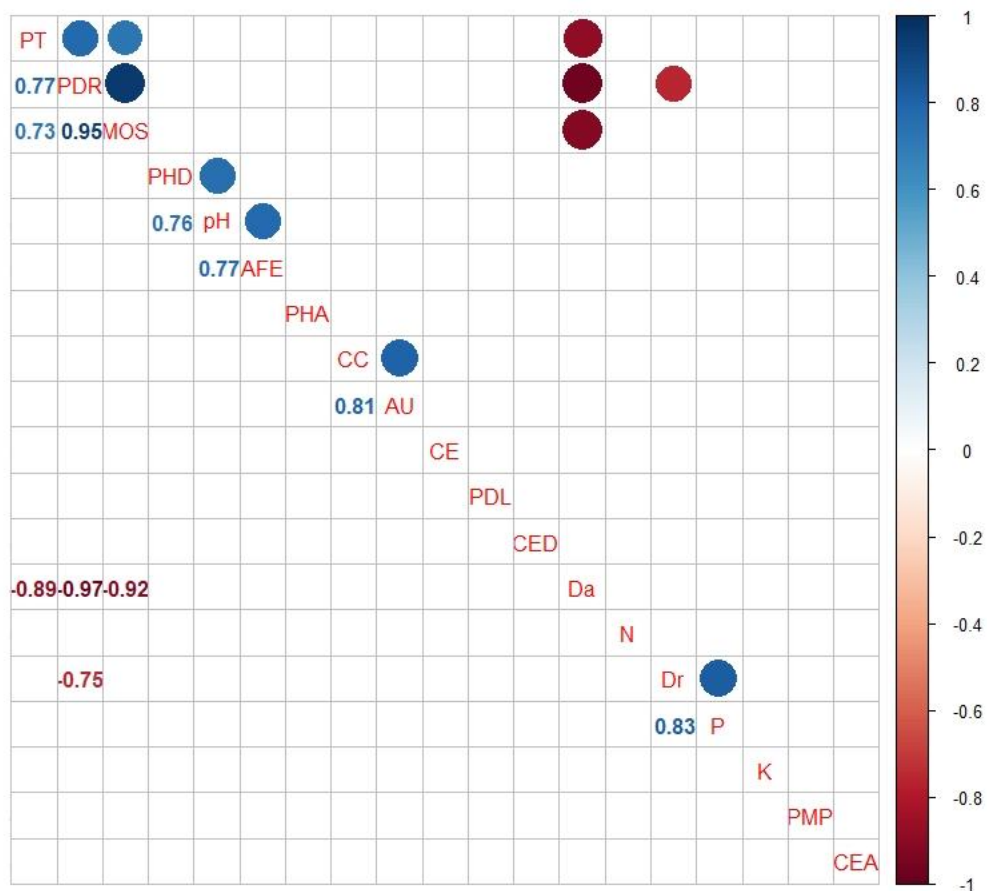
PDR: poros de drenaje rápido; MOS: porcentaje de materia orgánica; PT: porosidad total; AU: poros de agua útil, PHR: potencial hídrico con riego; PHAR: potencial hídrico antes de riego; AFE: área foliar específica; K: potasio; P: fósforo, Dr: densidad real; N: nitrógeno; PMP: punto de marchitez permanente; Da: densidad aparente; CER: conductancia estomática con riego; CEAR: conductancia estomática antes de riego; CE: conductividad eléctrica; PDL: poros de drenaje lento.

Apéndice XVIII. Gráfico de contribución de las variables analizadas al componente principal número 2.



Da: densidad aparente; CER: conductancia estomática con riego; CEAR: conductancia estomática antes de riego; CE: conductividad eléctrica; PDL: poros de drenaje lento; PDR: poros de drenaje rápido; MOS: porcentaje de materia orgánica; PT: porosidad total; AU: poros de agua útil, PHR: potencial hídrico con riego; PHAR: potencial hídrico antes de riego; AFE: área foliar específica; K: potasio; P: fósforo, Dr: densidad real; N: nitrógeno; PMP: punto de marchitez permanente; Da: densidad aparente; CER: conductancia estomática con riego; CEAR: conductancia estomática antes de riego; CE: conductividad eléctrica; PDL: poros de drenaje lento.

Apéndice XIX. matriz de correlaciones con significancias &lt; 0,05.



PT: porosidad total; PDR: poros de drenaje rápido; MOS: porcentaje de materia orgánica; PHD: potencial hídrico después riego; AFE: área foliar específica; PHA: potencial hídrico antes de riego; CC: capacidad de campo (retención de agua a -33kPa); AU: poros de agua útil; CE: conductividad eléctrica; PDL: poros de drenaje lento (retención de agua entre -60 y -33 kPa); CED: conductancia estomática después de riego; Da: densidad aparente; N: nitrógeno; Dr: densidad real; P: fósforo; K: potasio; PMP: Punto de marchitez permanente (retención de agua a -1500kPa); CEA: conductancia estomática antes de riego.